

Ökonomische Entscheidungen über Langeweile und Neuheitseinflüsse auf intertemporale Entscheidungen

Inauguraldissertation
zur Erlangung des akademischen Grades

doctor rerum naturalium
(Dr. rer. nat.)

Fachgebiet Psychologie
der Justus-Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von

Dennis Emanuel Dal Mas
geboren am 27. Oktober 1986
in Bielefeld

Januar 2017

„Aufklärung ist der Ausgang des Menschen aus seiner selbstverschuldeten Unmündigkeit. Unmündigkeit ist das Unvermögen, sich seines Verstandes ohne Leitung eines anderen zu bedienen. Selbstverschuldet ist diese Unmündigkeit, wenn die Ursache derselben nicht am Mangel des Verstandes, sondern der EntschlieÙung und des Muthes liegt, sich seiner ohne Leitung eines anderen zu bedienen.“

Immanuel Kant (1784)

Inhaltsverzeichnis

Thema und Struktur.....	1
1. Allgemeiner Theorieteil.....	2
1.1. Verhaltensökonomische Grundlagen.....	2
1.2. Das dopaminerge Belohnungssystem	5
1.3. Wertbasiertes Entscheidungsverhalten	10
1.3.1. Subjektive Werte.....	10
1.3.2. Elemente ökonomischer Entscheidungstheorien.....	12
1.3.3. Einflussfaktoren auf Entscheidungen	15
1.4. Intertemporale Entscheidungen.....	18
1.5. Neuheit und Langeweile	24
1.5.1. Neuheit	24
1.5.2. Langeweile	28
1.5.3. Empfänglichkeit für Langeweile und Streben nach Neuheit	33
2. Fragestellungen, experimentelles Vorgehen und Hypothesen	36
2.1. Studie 1 – Langeweileantizipation bei Kaufentscheidungen	36
2.2. Studie 2 – Einflüsse kontextueller Neuheit auf intertemporale Entscheidungen	37
3. Studie 1 – Langeweileantizipation bei Kaufentscheidungen	39
3.1. Methoden	39
3.1.1. Stichprobe.....	39
3.1.2. Versuchsablauf	40
3.1.3. Analyse der Verhaltensdaten	47
3.1.4. fMRT-Aufnahmen.....	48
3.1.5. fMRT-Analyse	49
3.2. Ergebnisse	54
3.2.1. Verhaltensergebnisse.....	54
3.2.2. fMRT-Ergebnisse	59
4. Studie 2 – Einflüsse kontextueller Neuheit auf intertemporale Entscheidungen	65
4.1. Methoden	65
4.1.1. Experiment 1	65
4.1.2. Experiment 2.....	71
4.2. Ergebnisse	73
4.2.1. Experiment 1.....	73
4.2.2. Experiment 2.....	77

5. Diskussion.....	82
5.1. Studie 1 – Langeweileantizipation bei Kaufentscheidungen	82
5.2. Studie 2 – Einflüsse kontextueller Neuheit auf intertemporale Entscheidungen.....	91
5.3. Resümee.....	103
Literaturverzeichnis	105
Erklärung.....	131
Danksagung	132

Thema und Struktur

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Antizipation von Langeweile bei Kaufentscheidungen sowie mit Einflüssen von Neuheit auf intertemporale Entscheidungen. Im ersten Abschnitt wird zunächst ein kurzer Überblick über die dahinter stehenden ökonomischen Grundlagen gegeben. Daraufhin werden neuronale sowie neuroanatomische Grundlagen und Theorien zur Rolle von Dopamin bei Entscheidungen berichtet. Anschließend werden neuronale Befunde aus der Literatur zu wertbasiertem Entscheidungsverhalten dargestellt, die für die Fragestellung der vorliegenden Arbeit relevant sind. Danach wird im Speziellen auf intertemporale Entscheidungen eingegangen. Im Anschluss werden Neuheit und Langeweile sowie die damit verbundenen Persönlichkeitsmerkmale eingeleitet. Im zweiten Abschnitt werden basierend auf den Erkenntnissen zu wertbasiertem Entscheidungsverhalten, Neuheit und Langeweile Vorhersagen zum Thema der vorliegenden Arbeit präsentiert. Im dritten und vierten Abschnitt werden die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen methodisch dargestellt und es werden deren Ergebnisse beschrieben. Im dritten Abschnitt wird eine Untersuchung mit der Methode der funktionellen Magnetresonanztomographie (fMRT) zur Langeweileantizipation bei Kaufentscheidungen vorgestellt. Im vierten Abschnitt werden zwei Verhaltensexperimente zum Einfluss von Neuheit auf intertemporale Entscheidungen dargestellt. Zuletzt erfolgt im fünften Abschnitt eine Diskussion der vorliegenden Befunde.

1. Allgemeiner Theorieteil

1.1. Verhaltensökonomische Grundlagen

Die vorliegende Arbeit ist in das Forschungsfeld der Neuroökonomie einzugliedern. Die Neuroökonomie stellt ein interdisziplinäres Forschungsfeld dar, welches Neurowissenschaften, Wirtschaftswissenschaften und Psychologie vereint. Seit Ende der 1990er Jahre wird angestrebt, diese Forschungsbereiche zu verbinden und dadurch motivationales Entscheidungsverhalten besser zu verstehen und bessere Vorhersagen zu treffen (siehe z.B. Camerer, 2007; Glimcher & Rustichini, 2004; Loewenstein, Rick, & Cohen, 2008). Im Folgenden werden kurz relevante Entwicklungsschritte der Verhaltensökonomie beschrieben, welche die Grundlage für die Erklärung des aktuellen Forschungsstands liefern. Als Überblick zur Entwicklung der Neuroökonomie sei auf Glimcher (2010) verwiesen.

Die klassische Ökonomie findet ihre Ursprünge mit der Begründung der Wahrscheinlichkeitstheorie durch die Mathematiker Blaise Pascal (1623-1662) und Pierre de Fermat (1601-1665). Pascal führte fundamentale entscheidungsrelevante Variablen ein - und zwar den Wert und die Wahrscheinlichkeit von Entscheidungsoptionen - und verknüpfte sie multiplikatorisch zum Konzept des Erwartungswerts (siehe auch Ore, 1960). Mit dem Mathematiker Daniele Bernoulli (1700-1782) folgte eine Erweiterung von Pascals Entscheidungsmodell durch das Hinzufügen weiterer Entscheidungsvariablen: einbezogen wurden der Reichtum des Entscheiders und das Konzept des Nutzens. Bernoulli argumentierte, dass nicht der reale Preis von Entscheidungsoptionen, sondern der subjektive Nutzen, der dem Entscheider durch eine Wahloption entsteht, entscheidend ist. Der Nutzenzuwachs (auch Grenznutzen genannt), den zusätzliches Geld mit sich bringt, sei je nach Reichtum des Entscheiders unterschiedlich. Mit der Einführung des Grenznutzens entstand die neoklassische Theorie, die dadurch charakterisiert war, dass versucht wurde, verborgene, nicht direkt erfassbare, Variablen in Entscheidungsmodelle zu implementieren. Dadurch wurden diese Modelle allerdings bis ins 19. Jahrhundert hinein immer komplizierter und subjektiver (siehe auch Bruni & Sugden, 2007) und es ergab sich zunehmend das Problem der Messbarkeit und Vergleichbarkeit des Nutzens über verschiedene Personen hinweg (Pareto, 1912). Vilfredo Pareto (1848-1923) und Irving Fisher (1867-1942) unternahmen Versuche, psychologische hedonistische Konzepte aus den vorherrschenden Entscheidungstheorien zu entfernen und neue Modelle mit ausschließlich beobachtbaren Parametern zu entwerfen (Bruni & Guala, 2001; Fisher, 1892; Pareto, 1900). Paul Samuelson (1915-2009) entwickelte einen entscheidend neuen Ansatz, bei dem nicht objektiv messbare psychologische Annahmen vollständig entfernt waren (Samuelson, 1938): Dabei handelte es sich um das schwache Axiom offenerbarer Präferenzen (engl. weak axiom of revealed preference; WARP), womit Samuelson (1938) die Theorie offenerbarer

Präferenzen begründete: Wenn bei einer Person beobachtet wird, dass sie A gegenüber B bevorzugt, dann kann sie nicht auch B gegenüber A bevorzugen (Samuelson, 1938). Ausgehend von Samuelsons WARP (Samuelson, 1938) entwickelte Hendrik Houthakker (1924-2008) ein Modell, mit dem bessere Vorhersagen getroffen werden können und zwar das starke Axiom offenerbarer Präferenzen (engl. strong axiom of revealed preference; SARP; Houthakker, 1950): Wenn eine Person A gegenüber B bevorzugt und B gegenüber C, dann bevorzugt sie auch A gegenüber C. SARP verschafft demnach Überleitungen zu neuen Entscheidungen und führt somit Transitivität in die Entscheidungstheorie offenerbarer Präferenzen ein, indem Präferenzen indirekt offenbart werden. Mit WARP und SARP entstand die Vorstellung eines rationalen Entscheiders: Entscheidet sich eine Person gemäß dieser Axiome, trifft sie konsistente Entscheidungen und ist rational. John von Neumann (1903-1957) und Oskar Morgenstern (1902-1977) entwickelten die Erwartungsnutzentheorie als Erweiterung von WARP und SARP (hier: Vollständigkeits- und Transitivitätsaxiome) zur Berücksichtigung von Wahrscheinlichkeiten, indem sie zusätzliche Axiome in diese Theorie eingliederten (von Neumann & Morgenstern, 1944): Das Kontinuitätsaxiom (oder Stetigkeitsaxiom) und das Unabhängigkeitsaxiom. Das Kontinuitätsaxiom besagt, dass die Wahrscheinlichkeiten der Preise auf einer kontinuierlichen Skala abgebildet werden können (Kardinalskala), anders als die Preise selbst. Das Unabhängigkeitsaxiom sagt aus, dass die Präferenz einer Person bei der Entscheidung zwischen zwei Lotterien (A und B) gleich bleiben sollte, unabhängig davon, ob ein neuer zusätzlicher Preis (C) zu jeder der beiden Lotterien hinzugefügt wird. Wird also A gegenüber B bevorzugt, sollte auch A + C gegenüber B + C bevorzugt werden. Dieses Axiom hat die höchste praktische Relevanz und wurde seit Bestehen der Erwartungsnutzentheorie am meisten geprüft (MacCrimmon & Larsson, 1979). Seit Bestehen der Theorie wurden Entscheidungsprobleme formuliert, um zu prüfen, ob die Axiome dabei beibehalten oder gebrochen werden und es konnten deutliche Verletzungen der Axiome empirisch nachgewiesen werden (Hagen, 1979; MacCrimmon & Larsson, 1979). Einen einflussreichen Befund (Glimcher, 2010; Heukelom, 2015) stellt das Allais-Paradoxon (Allais, 1953) dar, bei dem Personen unter bestimmten Bedingungen sowohl risikoaversiv als auch risikoaffin sind und das Unabhängigkeitsaxiom verletzen. Einen weiteren Widerspruch zur Erwartungsnutzentheorie stellt das Ellsberg-Paradoxon dar (Ellsberg, 1961), bei dem Personen gegenüber Situationen, in denen keine expliziten Wahrscheinlichkeiten gegeben sind und somit nur ungenaue und vage Informationen zur Entscheidungsfindung zur Verfügung stehen, abgeneigt sind (Ungewissheitsaversion; siehe Epstein, 1999). Kahneman und Tversky (1979) entdeckten unter anderem, dass Personen risikoaversiv sind, wenn Entscheidungen Gewinne involvieren und risikofreudig, wenn es bei den Entscheidungen um Verluste geht und entwickelten auf dieser Basis die neue Erwartungstheorie (engl. Prospect Theory; siehe auch Tversky & Kahneman, 1992). Diese Theorie sollte Einflüsse auf

Entscheidungsverhalten berücksichtigen, die der Erwartungsnutzentheorie widersprechen. Die neue Erwartungstheorie berücksichtigt eine Reihe von Parametern, die sich aus experimentellen Studien ergaben, z.B. die Überschätzung unwahrscheinlicher Ereignisse oder die Unterschätzung bestimmter großer Wahrscheinlichkeiten. Dazu wurde eine neue Funktion zur Gewichtung der Wahrscheinlichkeiten implementiert (Kahneman & Tversky, 1979). Weiterhin wurde das Konzept eines „Referenzpunktes“ eingeführt. Alle Ereignisse, die über diesem Punkt liegen, werden als Gewinne und alle, die darunter liegen, als Verluste interpretiert. Es wurde eine Wertefunktion entwickelt, die, wie bereits bei Bernoulli (1738), den Zweck der Messung des Nutzens hat und ihre Form am Referenzpunkt (als Nullpunkt der Werteskala) ändert, um die unterschiedliche Verarbeitung von Gewinnen und Verlusten zu erklären (Kahneman & Tversky, 1979). Seit Bestehen der neuen Erwartungstheorie wurden zunehmend irrationale Einflüsse auf Entscheidungsverhalten entdeckt. Beispielsweise lassen sich die Präferenzen von Personen durch den Besitz von Gütern beeinflussen, was den Vorhersagen von WARP (Samuelson, 1938) widerspricht (Besitztumseffekt, engl. Endowment effect; Thaler, 1980). Mit diesem Effekt wurde sogar das Basisaxiom der Konsistenz der Erwartungsnutzentheorie in Frage gestellt. Als weiteres Beispiel kann der Framing-Effekt dienen, der besagt, dass Kontextvariationen in der Vermittlung von Informationen Entscheidungen beeinflussen können (Tversky & Kahneman, 1985) oder der Status-Quo-Bias, nach welchem Personen im Allgemeinen eine Tendenz dazu haben, den aktuellen Zustand beizubehalten. Zudem ergab sich, dass die Präferenz des Status-Quo mit der Anzahl der zur Verfügung stehenden Wahlalternativen zunimmt (Samuelson & Zeckhauser, 1988).

Die dargestellten Entwicklungsschritte der Verhaltensökonomie zeigen, dass der Erwartungswert seit den Anfängen der Verhaltensökonomie durchgängig das Fundament für Entscheidungen darstellt. Der Erwartungswert kann nicht nur anhand von Geldwerten gebildet werden, sondern sich auch auf den Wert positiver oder negativer emotionaler Zustände beziehen. In der vorliegenden Studie wurden auf dieser Basis Entscheidungen über eine Entscheidungsoption mit einem negativen Erwartungswert, der Antizipation des zukünftigen internalen affektiv-motivationalen Zustands der Langeweile, untersucht. Weiterhin zeigt die Entwicklung der Verhaltensökonomie, dass Entscheidungsverhalten nicht immer konsistent und somit nicht immer rational ist, sondern verschiedenen kontextuellen Einflüssen unterliegt. Auf dieser Grundlage wurde in der vorliegenden Arbeit der Einfluss eines externalen Kontexteffekts - der Einfluss von Neuheit - auf ökonomische Entscheidungen untersucht.

1.2. Das dopaminerge Belohnungssystem

In den dargestellten ökonomischen Theorien ist das Konzept des Wertes entscheidend. Aus biologischer Sicht stellt sich die Frage, woher die Werte von Entscheidungsoptionen kommen. Dafür spielt das dopaminerge Belohnungssystem eine entscheidende Rolle. Konzeptuell entsprechen Belohnungen im neurobiologischen Sinne aus ökonomischer Sicht den Gütern (Güter mit hohem Wert sind belohnend). Entscheidungen können zum Erhalt (oder Nichterhalt) von Belohnungen/Gütern führen.

Die Anfänge der Erforschung des Belohnungssystems bildeten Untersuchungen anhand der intrakraniellen elektrischen Selbststimulation (Olds & Milner, 1954). Olds und Milner (1954) entdeckten, dass sich elektrische Stimulationen bei Ratten im Bereich des Fasciculus medialis telencephali, der die dopaminerge Area tegmentalis ventralis (engl. ventral tegmental area; VTA) und den Nucleus accumbens (NAc) des basalen Vorderhirns verbindet, verhaltensverstärkend auswirkten, sodass die Ratten die Stimulation sogar lebenswichtigen Verhaltensweisen wie Essen und Trinken vorzogen. In der weiteren Forschung hat sich herausgestellt, dass Dopamin für eine solche Verstärkung von Verhalten mitverantwortlich ist. Es konnte pharmakologisch gezeigt werden, dass die Verabreichung von Dopamin-Antagonisten die Selbststimulation reduziert (Mogenson, Takigawa, Robertson, & Wu, 1979). Im Jahre 1980 wurden erstmals elektrophysiologisch und histochemisch identifizierte dopaminerge Neurone in der Substantia nigra (SN) einer Ratte über Einzelzelleitungen gemessen (Grace & Bunney, 1980). Anhand von Einzelzelleitungen konnte weiterhin demonstriert werden, dass dopaminerge Neurone auf primäre Belohnungen wie Futter (Romo & Schultz, 1990; Schultz, 1986) reagieren. Von da an wurde vielfach gezeigt, dass Dopamin mit Belohnungen assoziiert ist (Wise & Rompre, 1989). Dopaminerge Neuronen reagieren nicht nur auf primäre Belohnungsreize, sondern auch auf konditionierte Stimuli, die Belohnung vorhersagen (z.B. Kobayashi & Schultz, 2014; Miller, Sanghera, & German, 1981; Schultz, Apicella, & Ljungberg, 1993). Diese Befunde zum Konditionierungslernen streifen die Frage, wie die Werte von Entscheidungsoptionen gelernt werden. Lernen ist in diesem Kontext sehr wichtig, da die Werte für zukünftige Entscheidungen schließlich gespeichert werden müssen (Montague, Dayan, & Sejnowski, 1996). Auch hierbei spielt Dopamin eine wichtige Rolle und zwar durch die Codierung von Vorhersagefehlern¹ (Schultz, Dayan, & Montague, 1997). Vorhersagefehler sind sehr wichtig bei adaptivem, motivationalem Entscheidungsverhalten, weil Personen nur dann dazu

¹ Angenommen eine Person entscheidet sich zwischen zwei Optionen und hat bestimmte Erwartungen zu welchem Ereignis die Wahl dieser Optionen führt. Entscheidet sie sich nun für eine Option und das damit verbundene Ereignis entspricht nicht der vorherigen Erwartung, so ergibt sich ein Vorhersagefehler (für genauere Ausführungen siehe z.B. Schultz, 2016).

motiviert sind, ihre zukünftigen Entscheidungen entsprechend anzupassen, wenn nach der aktuellen Entscheidung etwas Anderes eintritt als erwartet. Vorhersagefehler ermöglichen es, etwas aus den eigenen Entscheidungen zu lernen und formen somit zukünftige Entscheidungen (Schultz, 2016). Sie gehen aus grundlegenden Lernmodellen wie aus dem Rescorla-Wagner-Modell (Bush & Mosteller, 1951; Rescorla & Wagner, 1972) sowie aus weiterentwickelten Modellen des bestärkenden Lernens (Sutton & Barto, 1987) hervor. Diese Modelle haben mit zunehmender Entwicklung vielfältige Anwendungsbezüge in komplexen Entscheidungssituationen, wie z.B. im Bereich der künstlichen Intelligenz (Mnih, Kavukcuoglu, Silver, Rusu, Veness, Bellemare, Graves, Riedmiller, Fidjeland, Ostrovski, Petersen, Beattie, Sadik, Antonoglou, King, Kumaran, Wierstra, Legg, & Hassabis, 2015). Die Codierung von Vorhersagefehlern durch dopaminerge Neurone lässt sich anhand von Untersuchungen an Affen mit Einzelzelleitungen demonstrieren (Schultz et al., 1997). Dass dopaminerge Neurone für Vorhersagefehler codieren und Vorhersagefehler das Lernen von Werten bedingen, konnte anhand von optogenetischen Untersuchungen² demonstriert werden (Cohen, Haesler, Vong, Lowell, & Uchida, 2012; Steinberg, Keiflin, Boivin, Witten, Deisseroth, & Janak, 2013). Ableitungen mit Mikroelektroden deuten auch beim Menschen auf eine Codierung von Vorhersagefehlern in der SN hin (Zaghloul, Blanco, Weidemann, McGill, Jaggi, Baltuch, & Kahana, 2009). Vorhersagefehler stellen die Basis für das Lernen von Werten dar. In der vorliegenden Arbeit liegt der Fokus allerdings nicht auf dem Lernen neuer Werte, da die Werte in den durchgeführten Experimenten explizit repräsentiert werden. Deshalb wird im Folgenden nicht näher auf Vorhersagefehler eingegangen.

Grundlegend spielt das dopaminerge System bei Entscheidungsverhalten allein schon aufgrund der Codierung von Vorhersagefehlern durch dopaminerge Neurone (Schultz et al., 1997) eine Rolle. Weiterhin konnte pharmakologisch demonstriert werden, dass eine erhöhte tonische dopaminerge Aktivität die Energetisierung von Verhalten fördert, d.h. die Energie verstärkt, mit der eine Handlung ausgeführt (Vigor einer Handlung) oder eine Entscheidung getroffen wird (Beierholm, Guitart-Masip, Economides, Chowdhury, Duzel, Dolan, & Dayan, 2013; Niv, Daw, Joel, & Dayan, 2007). Eine Vigor-Erhöhung durch Dopamin kann auf Basis einer Theorie erklärt werden, bei der tonisches Dopamin die durchschnittliche Belohnungsrate und somit die Opportunitätskosten der Zeit repräsentiert (Cools, Nakamura, & Daw, 2011; Niv et al., 2007). Die Opportunitätskosten einer Handlung bestehen in dem Wert oder Nutzen der nächstbesten alternativen Handlung (alternativ zu der Handlung, die bereits gewählt wurde und gerade ausgeführt wird). Bei der Ausführung einer Handlung liegen die Opportunitätskosten darin, was hätte erhalten werden können, wenn eine andere

² Anhand der Optogenetik ist es über genetisch manipulierte lichtsensitive Proteine möglich, lebende Zellen durch Licht direkt zu beeinflussen (Boyden, Zhang, Bamberg, Nagel, & Deisseroth, 2005).

Handlung gewählt worden wäre. Die durchschnittliche Belohnungsrate ist mit den Opportunitätskosten der Zeit verbunden: Wenn eine bestimmte Handlung gewählt wird, wird über die Zeit hinweg eine bestimmte Menge an Nutzen oder Belohnungen dadurch erhalten (durchschnittliche Belohnungsrate). Wenn diese Handlung nicht gewählt und stattdessen gewartet wird (statt zu handeln und Belohnungen zu sammeln), entstehen Kosten, die über dieselbe Zeit genau der Höhe/Menge der Belohnungen entsprechen, die erhalten worden wären, wenn die Handlung gewählt worden wäre (Opportunitätskosten der Zeit). Demnach entspricht die durchschnittliche Belohnungsrate, die durch die Wahl einer Handlung erhalten wird, den Opportunitätskosten der Zeit, die erhalten werden, wenn diese Handlung nicht gewählt, sondern gewartet wird. Bei einer hohen durchschnittlichen Belohnungsrate bestehen somit hohe Opportunitätskosten der Zeit durch das Warten, sodass ein Lebewesen zur Vermeidung dieser Kosten schnell handeln sollte, selbst wenn damit hohe energetische Kosten einhergehen (siehe Niv et al., 2007). Nach dem theoretischen Modell von Niv und Kollegen (2007) wird die durchschnittliche Belohnungsrate durch die tonische Aktivität dopaminerger Neurone enkodiert. Aus dieser Theorie ergeben sich Vorhersagen für Aufgaben, bei denen Entscheidungen mit expliziten Regeln, ohne Ungewissheit und ohne Beteiligung von Lernprozessen getroffen werden müssen.

Neuroanatomisch betrachtet, sind für Entscheidungsverhalten dopaminerge Projektionen von der SN/VTA zum Striatum entscheidend (für einen Überblick siehe Haber & Knutson, 2010; Abbildung 1). Die SN/VTA übermittelt motivationale Signale zum Striatum und steuert dadurch Entscheidungsverhalten. Von der SN/VTA reicht der größte Input in das dorsale Striatum (für einen Überblick siehe Haber & Behrens, 2014).

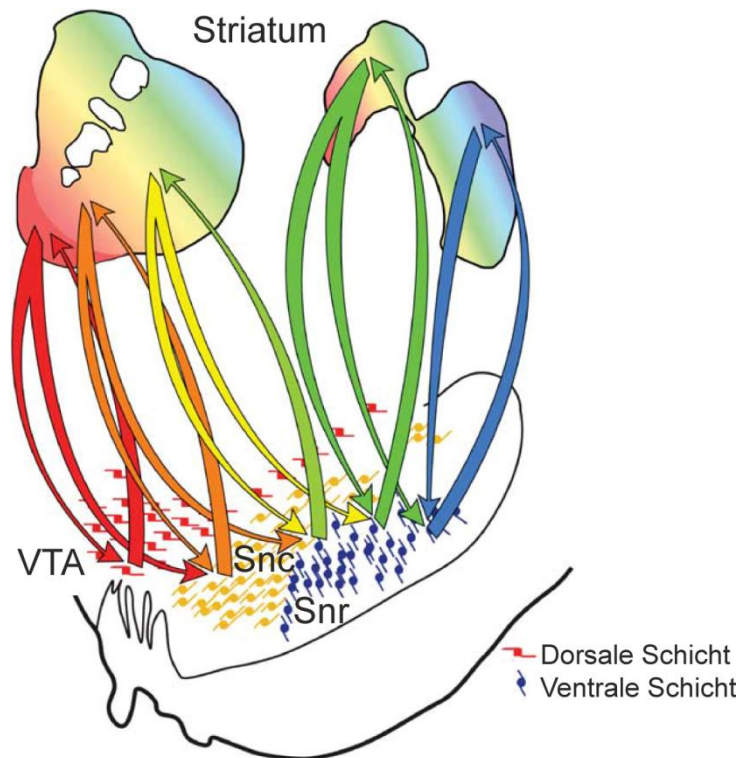


Abbildung 1. Schematische Darstellung der Konnektivität zwischen der SN/VTA und dem Striatum. Die ventrale Schicht (blau) in der pars reticulata und pars compacta der SN hat Verbindungen zum dorsalen Striatum. Die dorsale Schicht (rot) in der VTA und der dorsalen SN projiziert in das ventrale Striatum. Die gelb dargestellten Zellen haben Verbindungen zum dorsalen Nucleus caudatus. Die Farben der Pfeile repräsentieren verschiedene kortikale Inputs, die das Striatum erhält (rot: Afferenzen aus dem ventromedialen präfrontalen Kortex (vmPFC); orange: Afferenzen vom orbitofrontalen Kortex (OFC) und vom dorsalen anterioren Gyrus cinguli (engl. dorsal anterior cingulate cortex; dACC); gelb: Afferenzen vom dorsolateralen präfrontalen Kortex (DLPFC); grün und blau: Afferenzen aus motorischen Regionen). Die nigrostriatalen Projektionen bilden eine aufwärtsgerichtete Spirale, die sich letztlich von belohnungsbezogenen zu kognitiven und motorischen Regionen erstreckt. Diese Abbildung wurde aus Haber und Knutson (2010) entnommen und adaptiert.

Neben Verbindungen zur SN/VTA ist das Striatum insbesondere mit Regionen im präfrontalen Kortex (z.B. vmPFC, OFC, dACC und dem dorsalen präfrontalen Kortex (DPFC)) verbunden (siehe z.B. Haber & Knutson, 2010; Abbildung 2).

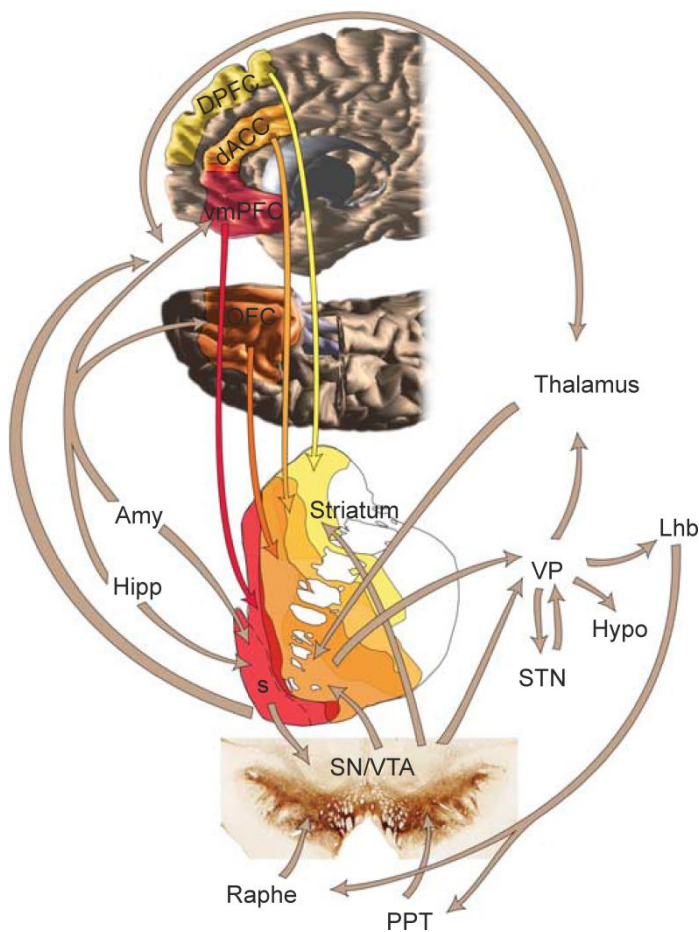


Abbildung 2. Schematische Darstellung der Konnektivität zwischen wichtigen entscheidungsrelevanten Regionen des Belohnungssystems. Es werden die wichtigsten Regionen dargestellt, die mit dem Striatum verbunden sind. Amy = Amygdala; Hipp = Hippocampus; LHb = laterale Habenula; hypo = Hypothalamus; PPT = Nucleus pedunculopontinus; Raphe = Raphe-Kerne; s = Schalenregion; STN = Nucleus subthalamicus; VP = ventrales Pallidum. Diese Abbildung wurde aus Haber und Knutson (2010) entnommen und adaptiert.

Abgesehen von den aufgeführten Regionen sind auch weitere entscheidungsrelevante Regionen wie die Insula (siehe Abschnitt 1.3.2) mit dem Striatum verbunden (Chikama, McFarland, Amaral, & Haber, 1997).

1.3. Wertbasiertes Entscheidungsverhalten

1.3.1. Subjektive Werte

Subjektive Werte stellen den Ausgangspunkt für wertebasiertes Entscheidungsverhalten dar (für ein ausführliches Bezugssystem siehe Rangel, Camerer, & Montague, 2008). Für die neuronale Repräsentation subjektiver Werte ist ein frontostriatales Netzwerk ausschlaggebend. Anhand der fMRT wurde vielfach demonstriert, dass insbesondere das Striatum, der vmPFC und der OFC subjektive Werte codieren (Levy & Glimcher, 2012). Bereits in der frühen fMRT-Forschung zu neuroökonomischem Entscheidungsverhalten konnte gezeigt werden, dass Belohnungsantizipation (Knutson, Adams, Fong, & Hommer, 2001a; Knutson, Fong, Adams, Varner, & Hommer, 2001b) und Erwartungswerte (Knutson, Taylor, Kaufman, Peterson, & Glover, 2005) mit Aktivierungen im Striatum und medialen präfrontalen Kortex (mPFC) korrelieren. Striatale Aktivierungen und Aktivierungen im vmPFC korrelieren mit dem subjektiven Wert für primäre und sekundäre Belohnungen (Levy & Glimcher, 2011) sowie auch mit dem subjektiven Wert verzögerter monetärer Belohnungen (Kable & Glimcher, 2007; Peters & Büchel, 2009). Es existieren auch Befunde dazu, dass der vmPFC und das Striatum Werte abhängig von Aufmerksamkeitsprozessen encodieren (Lim, O'Doherty, & Rangel, 2011).

Im Hinblick auf die Wertekodierung konnten unterschiedliche Rollen für Subregionen des Striatums sowie für den vmPFC und OFC ermittelt werden. Der vmPFC und OFC sind zusammen mit dem dorsomedialen Striatum (insbesondere mit dem Nucleus caudatus) für zielgerichtetes Entscheidungsverhalten (Action-Outcome-Assoziationen) bedeutsam (Balleine & O'Doherty, 2009). Das dorsolaterale Striatum (insbesondere das Putamen) ist für habituelle Entscheidungsprozesse (Stimulus-Response-Assoziationen), assoziiert mit sensomotorischem Lernen, wichtig (Jog, Kubota, Connolly, Hillegaart, & Graybiel, 1999; Tricomi, Balleine, & O'Doherty, 2009). Das ventrale Striatum (insbesondere der NAc) ist sowohl bei zielgerichtetem als auch bei habituellem Entscheidungsverhalten insbesondere an der Belohnungsantizipation und der Verarbeitung von Belohnungen beteiligt (für einen Überblick siehe Wang, Smith, & Delgado, 2016).

Die Repräsentation von Werten im vmPFC wird durch Assoziationen zwischen Handlungen und deren Konsequenzen angetrieben (Gläscher, Hampton, & O'Doherty, 2009). Der OFC scheint auf einer abstrakteren Ebene die Werte von Zielen zu codieren (Plassmann, O'Doherty, & Rangel, 2007). Es konnte gezeigt werden, dass das dorsomediale Striatum eine größere Rolle bei zielgerichteten Entscheidungen spielt als andere Subregionen des Striatums (für einen Überblick zur Rolle des dorsomedialen Striatums bei zielgerichteten Entscheidungen siehe Balleine & O'Doherty, 2009; Kim & Hikosaka, 2013; Tanaka, Balleine, & O'Doherty, 2008; Yin, Ostlund, Knowlton, & Balleine, 2005). Das dorsomediale Striatum ist

für zielgerichtete Handlungen und die Handlungsauswahl - basierend auf erwarteten Belohnungswerten - entscheidend (Balleine, Delgado, & Hikosaka, 2007). Die Beteiligung des dorsomedialen Striatums bei zielgerichteten Entscheidungen konnte beispielsweise bei Entscheidungen gezeigt werden, bei denen das Vorausplanen von Optionen erforderlich war (Wunderlich, Dayan, & Dolan, 2012). Der Nucleus caudatus ist an der Vorhersage und Antizipation von Belohnungen und an der Berechnung von Erwartungswerten beteiligt (Davidson, Horvitz, Tottenham, Fossella, Watts, Ulug, & Casey, 2004; Delgado, Stenger, & Fiez, 2004; Knutson et al., 2001a; Knutson et al., 2005; O'Doherty, Dayan, Schultz, Deichmann, Friston, & Dolan, 2004; Valentin & O'Doherty, 2009). Beispielsweise korrelierten Aktivierungen im Nucleus caudatus bei einem Markow-Entscheidungsproblem³ mit vorhersehbaren Regeln mit der Belohnungserwartung und Vorhersagefehlern (Tanaka, Samejima, Okada, Ueda, Okamoto, Yamawaki, & Doya, 2006) oder bei einer stochastischen Entscheidungsaufgabe, bei der Assoziationen zwischen Stimuli, Handlungen und Belohnungen gelernt werden mussten, mit Vorhersagefehlern (Haruno & Kawato, 2006). In Affenstudien wurde vielfach demonstriert, dass der Nucleus caudatus Handlungswerte codiert (Lau & Glimcher, 2007, 2008; Pasquereau, Nadjar, Arkadir, Bezar, Goillandeau, Bioulac, Gross, & Boraud, 2007; Samejima, Ueda, Doya, & Kimura, 2005; Yamada, Inokawa, Matsumoto, Ueda, & Kimura, 2011). Für das ventrale Striatum wurde auch schon früh gezeigt, dass es monetäre Gewinne und Verluste (Delgado, Nystrom, Fissell, Noll, & Fiez, 2000) sowie die Belohnungshöhe codiert (Elliott, Friston, & Dolan, 2000), was in späteren Untersuchungen bestätigt werden konnte (Tom, Fox, Trepel, & Poldrack, 2007). Über die Repräsentation von Stimuluswerten scheint es die Motivation zur Handlungsausführung zu beeinflussen (Balleine & O'Doherty, 2009).

Metaanalysen zur neuronalen Basis subjektiver Werterepräsentationen ergaben, dass das ventrale Striatum sowie der vmPFC sowohl monetäre als auch primäre Belohnungen codieren (Bartra, McGuire, & Kable, 2013; Clithero & Rangel, 2014). Im Einklang dazu resultierte aus einer weiteren Metaanalyse, dass das ventrale Striatum und der vmPFC über Aufgabentypen, Belohnungsmodalitäten und verschiedene Phasen im Entscheidungsprozess hinweg subjektive Werte codieren (Clithero & Rangel, 2014). Für eine Übersicht zur Rolle des Striatums und des vmPFC siehe Delgado (2007) und Grabenhorst und Rolls (2011). Eine Taxonomie unterschiedlicher Wertetypen kann bei Peters und Büchel (2010) eingesehen werden.

³ Markow-Entscheidungsprobleme sind Modelle sequentiellen Entscheidungsverhaltens unter Ungewissheit. Der Entscheider befindet sich zu einem bestimmten Zeitpunkt in einem bestimmten Zustand und führt eine Handlung aus. Die Handlung bestimmt den Zustand zum nächsten Zeitpunkt im Entscheidungsprozess über eine Übergangswahrscheinlichkeitsfunktion. Jeder Zustand hat einen bestimmten Wert (siehe z.B. Puterman, 2014).

1.3.2. Elemente ökonomischer Entscheidungstheorien

In der jüngeren Forschung kamen Stauffer, Lak und Schultz (2014) zu dem Schluss, dass dopaminerge Neurone das ökonomische Konzept des Grenznutzens (Bernoulli, 1738) durch dopaminerge Vorhersagefehler codieren. Die Aktivität dopaminergener Neurone von Affen auf Belohnungen bei einer Risikoentscheidungsaufgabe bildete die Form der Wertefunktion ab. So wie der Nutzen von einer Belohnung zur nächstgrößeren im risikoaffinen Bereich zunahm (erhöhter Grenznutzen) und im risikoaversiven Bereich abnahm (verringertes Grenznutzen), verhielt sich die Aktivitätshöhe der dopaminergen Neurone im Verlauf des Experiments entsprechend. Es konnte gezeigt werden, dass Aktivität im Striatum, mPFC, in der Amygdala und im posterioren Gyrus cinguli (PCC) mit Vorhersagefehlern aus einem axiomatischen Modell korreliert, das Parameter enthält, die u.a. dem Unabhängigkeitsaxiom der Erwartungsnutzentheorie (von Neumann & Morgenstern, 1944) entsprechen (Rutledge, Dean, Caplin, & Glimcher, 2010).

Verletzungen der Erwartungsnutzentheorie wie die Allais- und Ellsberg-Paradoxa lassen sich über die neue Erwartungstheorie erklären (Kahneman & Tversky, 1979). Allais (1953) stellte bereits fest, dass der erwartete Nutzen bei sehr niedrigen und sehr hohen Wahrscheinlichkeiten nicht mehr linear verläuft, sondern entgegen der Vorhersagen der Erwartungsnutzentheorie, non-linear, in dem Sinne, dass geringe Wahrscheinlichkeiten übergewichtet werden. Bei Entscheidungen zwischen unterschiedlichen Lotterien wurde gezeigt, dass die Aktivität im Striatum bei solchen Wahrscheinlichkeiten ebenso non-linear verläuft (Hsu, Krajbich, Zhao, & Camerer, 2009). Es gibt auch Hinweise darauf, dass die Non-Linearität der Wahrscheinlichkeitsgewichtungsfunktion aus der neuen Erwartungstheorie mit dem anterioren Gyrus cinguli (ACC) in Verbindung steht. Es wurde ein Zusammenhang zwischen der non-linearen Form der Wahrscheinlichkeitsgewichtungsfunktion und Aktivierungsdifferenzen (hohe versus niedrige Wahrscheinlichkeiten) im ACC gefunden. Das spricht dafür, dass risikoaffine Entscheidungen für niedrige Wahrscheinlichkeiten und risikoaversive für mittlere und hohe Wahrscheinlichkeiten mit verminderter Kontrolle durch den ACC assoziiert sind (Paulus & Frank, 2006). Das Ausmaß an Non-Linearität scheint weiterhin auch mit einem verminderten Volumen der grauen Substanz im vmPFC, OFC und DLPFC einherzugehen (Voon, Morris, Irvine, Ruck, Worbe, Derbyshire, Rankov, Schreiber, O'dlaug, & Harrison, 2015).

Der Grad an Ungewissheit bei Entscheidungen korrelierte mit Aktivierungen in der Amygdala (Hsu, Bhatt, Adolphs, Tranel, & Camerer, 2005), die für ihre Rolle bei Emotionen sehr bekannt ist (Costafreda, Brammer, David, & Fu, 2008; Kienast, Hariri, Schlagenhaut, Wrase, Sterzer, Buchholz, Smolka, Gründer, Cumming, & Kumakura, 2008; O'Doherty, Rolls,

Francis, Bowtell, & McGlone, 2001; siehe Abschnitt 1.5.2). Dies könnte zur Erklärung der Ungewissheitsaversion aus dem Ellsberg-Paradoxon (Ellsberg, 1961) dienen. Denn die Amygdala vermittelt auch Signale zu subjektiven Werten (Belova, Paton, & Salzman, 2008; Jenison, Rangel, Oya, Kawasaki, & Howard, 2011; Levy, Snell, Nelson, Rustichini, & Glimcher, 2010), ist an der Antizipation von Verlusten beteiligt (Breiter, Aharon, Kahneman, Dale, & Shizgal, 2001; Nitschke, Sarinopoulos, Mackiewicz, Schaefer, & Davidson, 2006) und repräsentiert Verlustaversion (De Martino, Camerer, & Adolphs, 2010; Tom et al., 2007; Weber, Aholt, Neuhaus, Trautner, Elger, & Teichert, 2007). Eng damit verbunden ist die Wertefunktion der neuen Erwartungstheorie, für die der Referenzpunkt zentral ist. Der Referenzpunkt könnte durch ein Zusammenspiel zwischen der Amygdala und dem OFC determiniert werden (De Martino, Harrison, Knafo, Bird, & Dolan, 2008; Weber et al., 2007). Zum Konzept des Referenzpunkts existieren Theorien, die besagen, dass der Referenzpunkt durch die durchschnittliche Belohnungsrate (bzw. durch die durchschnittliche Belohnungsrate abzüglich der durchschnittlichen Bestrafungsrate) abgebildet wird (Cools et al., 2011). Dabei wird angenommen, dass die durchschnittliche Belohnungsrate über die tonische Aktivität dopaminergischer Neurone und die durchschnittliche Bestrafungsrate über die tonische Aktivität serotonergischer Neurone repräsentiert wird (Cools et al., 2011). Die Wertefunktion der neuen Erwartungstheorie ist allgemein konkav für Gewinne und konvex für Verluste (Kahneman & Tversky, 1979). Bei einer Erhöhung der Dopaminlevel durch die Verabreichung von der Dopamin-Vorstufe Levodopa (L-Dopa) konnte gezeigt werden, dass die Anzahl von Entscheidungen für riskante Wahlalternativen in Versuchsdurchgängen mit potentiellen Gewinnen erhöht war (Rutledge, Skandali, Dayan, & Dolan, 2015). Das könnte dadurch erklärt werden, dass der Referenzpunkt durch eine erhöhte Verfügbarkeit von tonischem Dopamin nach oben verschoben wurde und somit mehr Durchgänge als potentiell verlustreich gesehen wurden, was zu risikoreicheren Entscheidungen bei diesen Durchgängen führte (dementsprechend sollten weniger Durchgänge als potentiell gewinnbringend wahrgenommen worden sein, was weniger risikoaverse Entscheidungen bedingen sollte). Bereits in der frühen neuroökonomischen Literatur gab es außerdem Hinweise darauf, dass das Striatum die Form der Wertefunktion steuert (Delgado, Locke, Stenger, & Fiez, 2003).

Die Insula ist bei verschiedenen Aspekten von Entscheidungsverhalten involviert und weist diesbezüglich eine hohe funktionelle Heterogenität auf (Craig, 2009; siehe auch Abschnitt 1.5.2). Sie ist bei Entscheidungen unter Risiko, Ambiguität und Ungewissheit beteiligt (Huettel, Stowe, Gordon, Warner, & Platt, 2006) und bei potentiellen Verlusten aktiv (Mohr, Biele, & Heekeren, 2010). In einer Untersuchung von Kuhnen und Knutson (2005) sollten die Probanden eine finanzielle Investment-Entscheidungsaufgabe durchführen, bei der sie sich jeweils zwischen dem Kauf von zwei Aktien und einer Anleihe entscheiden sollten. Ihre

Entscheidungen wurden mit denen eines risikoneutralen Agenten verglichen, der seine Entscheidungen darauf ausrichtet, seinen erwarteten Nutzen zu maximieren. Auf dieser Basis wurden optimale und suboptimale Entscheidungen definiert, wobei suboptimale Entscheidungen risikoaversive Fehler (keine Risiken trotz finanziell vorteilhaftem Erwartungswert eingehen) und risikoaffine Fehler (Risiken trotz finanziell nachteiligem Erwartungswert eingehen) umfassten. Anhand von fMRT ergaben sich erhöhte antizipatorische Insula-Aktivierungen vor dem Treffen optimaler Entscheidungen und vor dem Begehen risikoaversiver Entscheidungsfehler. Demnach scheint die Insula die Vorhersage von Verlusten zu repräsentieren und sowohl bei rationalen als auch irrationalen Entscheidungen (hier: mit risikoaversiven Fehlern) involviert zu sein. Bei einer anderen fMRT-Untersuchung von Knutson, Rick, Wimmer, Prelec und Loewenstein (2007) wurden den Probanden Produkte präsentiert, die sie für einen bestimmten Preis kaufen durften. Ihnen wurde zunächst nur das Produkt, dann das Produkt mit dazugehörigem Preis und daraufhin ein Wahlbildschirm (für jeweils 4 Sekunden) dargeboten, bei dem sie sich für oder gegen den Kauf entscheiden sollten. Käufe gingen zum Zeitpunkt der Wahl mit Deaktivierungen in der Insula einher. Während der Darbietung des Preises sagte die Insula-Aktivierung die nachfolgende Wahl gegen den Kauf vorher. Dass sich Kaufentscheidungen anhand der Insula-Aktivierungen bei dieser Aufgabe vorhersagen ließen, spricht für eine Beteiligung der Insula bei verlustbezogenen finanziellen Entscheidungen und für eine Rolle dieser Region als Prädiktor von Kaufentscheidungen. Darüber hinausgehend lassen die Ergebnisse von Furl und Averbeck (2011) auf eine Rolle der Insula bei der Wertekodierung schließen. Die Probanden sollten sich zwei Urnen, eine grüne und eine blaue, vorstellen, die entsprechend überwiegend grüne oder blaue Perlen beinhalteten, aber auch Perlen der jeweils anderen Farbe. In jedem Durchgang wurde den Probanden eine Perlenfarbe dargeboten, woraufhin sie angeben sollten, ob die entsprechende Perle aus der grünen oder blauen Urne gezogen wurde. Alternativ konnten sie angeben, dass eine weitere Perle aus der Urne gezogen werden sollte, um mehr Informationen für ihre Entscheidung zu erlangen (Kosten: 0.25\$). Eine korrekte Entscheidung für eine der beiden Urnen resultierte in einem Gewinn von 10\$ und eine inkorrekte in einem Verlust von entweder 0\$ oder 10\$. Im Vorfeld wurden die Probanden über die Wahrscheinlichkeitsverteilung (60/40 vs. 80/20) der Perlen(farben) und die Verlustbedingung (0\$/10\$) aufgeklärt. In der höheren Verlustbedingung ergaben sich erhöhte fMRT-Aktivierungen in der Insula bei der Entscheidung für die Urnen. Weiterhin korrelierten die Insula-Aktivierungen mit den Handlungswerten der Urnenwahl, die unter Einbeziehung der finanziellen Kosten anhand eines Bayes'schen Modells ermittelt wurden. Nach diesem Modell wurde eine Entscheidung für eine der Urnen getroffen, wenn der Handlungswert dieser Urnenwahl jenen der Ziehung einer weiteren Perle überstieg. Die Insula trägt demnach dazu bei, die

Informationssammlung, die mit der Ziehung einer weiteren Perle einhergeht, zu beenden und somit zielgerichtete belohnungsbezogene Entscheidungen zu modulieren (hier: Urnenentscheidung mit potentielltem Gewinn/Verlust).

1.3.3. Einflussfaktoren auf Entscheidungen

Im Laufe der neuroökonomischen Forschung wurden viele neurowissenschaftliche Erkenntnisse zu Einflüssen auf Entscheidungen gewonnen. Aktivierungen in der Amygdala sind vom Kontext, in dem Probanden ihre Entscheidungen treffen, getrieben und zwar in Übereinstimmung mit dem Framing-Effekt (Tversky & Kahneman, 1981): Im fMRT wurden erhöhte Amygdala-Aktivierungen gefunden, wenn sich Probanden für eine sichere Option in einem Gewinn-Kontext und für eine unsichere Option in einem Verlust-Kontext entschieden (De Martino, Kumaran, Seymour, & Dolan, 2006). Die Amygdala-Aktivierung spiegelte in dieser Untersuchung die Kombination von der Entscheidung und dem Kontext wider, in welchem sie stattfand, und nicht ausschließlich die Valenz des Kontexts. Das spricht dafür, dass die Amygdala kontextuelle Einflüsse auf Entscheidungen vermittelt. In einer Untersuchung von Roiser, de Martino, Tan, Kumaran, Seymour, Wood und Dolan (2009) bestand die Aufgabe der Probanden ebenso darin, sich in einer Lotterie zwischen einer sicheren und einer unsicheren Option zu entscheiden. Im Einklang mit dem Framing-Effekt gab es eine Tendenz dazu, die sichere Option zu wählen, wenn sie im Kontext von Gewinnen formuliert war und eine Tendenz dazu, die riskante Option zu wählen, wenn sie im Kontext von Verlusten stand. In dieser Studie zeigten sich zudem genetische Einflüsse. Die kurze Variante des Gens (s-Allel), das das Serotonin-Transporter-Protein codiert, führt im Vergleich zur längeren Variante (l-Allel) zu einer reduzierten Expression des Serotonin-Transporter-Proteins aufgrund einer reduzierten Effizienz bei der Transkription (Lesch, Bengel, Heils, Sabol, Greenberg, Petri, Benjamin, Mueller, Hamer, & Murphy, 1996). Personen mit diesem genetischen Polymorphismus (s-Allel) wiesen in der Untersuchung von Roiser et al. (2009) auf Basis von fMRT-Messungen eine erhöhte Amygdala-Aktivität bei Entscheidungen in Übereinstimmung mit dem Framing-Effekt auf, im Vergleich zu Entscheidungen, die nicht mit dem Framing-Effekt im Einklang standen. Im Vergleich zu einer Kontrollgruppe war der Framing-Effekt bei diesen Probanden auf Verhaltensebene signifikant stärker ausgeprägt. Guitart-Masip, Talmi und Dolan (2010b) fanden weiterhin, dass appetitive und aversive konditionierte Stimuli, die Gewinne und Verluste vorhersagen, davon unabhängige ökonomische Entscheidungen mit sicheren und unsicheren Optionen beeinflussen können und dass dieser Einfluss durch die Amygdala moduliert wird.

Der Nucleus caudatus, das ventrale Striatum und die Insula wurden mit der Vermittlung eines anderen Effekts, dem Status-Quo-Bias (Samuelson & Zeckhauser, 1988), in Verbindung gebracht (Yu, Mobbs, Seymour, & Calder, 2010). In einer fMRT-Untersuchung

von Yu et al. (2010) sollten die Probanden ein Kartenspiel spielen. In jedem Durchgang wurden ihnen zwei verdeckte Karten präsentiert, wobei eine davon als die Karte deklariert wurde, die sie für diese Runde auf der Hand hatten (Status-Quo). Sie sollten sich dann entscheiden, ob sie diese Karte halten oder zu der anderen Karte wechseln wollten. Nach ihrer Entscheidung wurden beide Karten aufgedeckt und es ergab sich je nach Karte entweder ein monetärer Gewinn oder ein Verlust, der den Probanden vorher nicht bekannt war. Die Probanden zeigten auf Verhaltensebene den Status-Quo-Bias. Entscheidungen für den bevorzugten Status-Quo gingen mit Aktivierungen im ventralen Striatum einher, was die Annahme, dass diese Struktur bei der Belohnungsrepräsentation eine Rolle spielt, bestärkt. Die Häufigkeit des Kartenwechsels korrelierte negativ mit Aktivierungen in der anterioren Insula und positiv mit Aktivierungen im Nucleus caudatus. Die Ergebnisse legen nahe, dass eine erhöhte Insula-Aktivierung und eine verringerte Caudatus-Aktivierung aufgrund der Antizipation von Verlusten beim Wechsel die Entscheidungen zur Beibehaltung des Status-Quo getrieben haben. Eine erhöhte Caudatus-Aktivität und verringerte Insula-Aktivität könnten hingegen aufgrund der Antizipation von Gewinnen beim Wechsel die Entscheidungen zum Wechsel getrieben haben. Das Zusammenspiel von der Insula und dem Nucleus caudatus spielt demnach eine Rolle bei der Antizipation von Ereignissen in Entscheidungskontexten und moduliert bei der Untersuchung von Yu et al. (2010) den Status-Quo-Bias.

Der Besitztumseffekt (Kahneman, Knetsch, & Thaler, 1991) wurde im Nucleus caudatus und in der Amygdala gefunden (Weber et al., 2007). Weber et al. (2007) ließen ihre Probanden Käufe und Verkäufe in Bezug auf Musikstücke durchführen. In einer Becker-DeGroot-Marschak-Auktion (BDM-Auktion; Becker, DeGroot, & Marschak, 1964)⁴ gaben die Probanden bei den Verkäufen den Minimalpreis an, den sie mindestens für den Verkauf eines Musikstücks erhalten wollten, und bei den Käufen bestimmten sie den Maximalpreis, den sie bereit waren zu zahlen. In Übereinstimmung mit dem Besitztumseffekt ergaben sich höhere Preise bei Verkäufen als bei Käufen. Bei Verkäufen wurden im Vergleich zu den Käufen erhöhte fMRT-Aktivierungen in der Amygdala und im Nucleus caudatus gefunden. Das spricht für die Beteiligung dieser Regionen beim Besitztumseffekt. Weiterhin bekräftigt es die Rolle der Amygdala bei der Verlustaversion (z.B. De Martino et al., 2010). Die Caudatus-Aktivierung lässt sich in dem Kontext so interpretieren, dass der Nucleus caudatus bei Verkaufsentscheidungen für ausgeprägtere Handlungsplanungen zuständig war. Diese

⁴ Bei einer BDM-Auktion soll für jedes präsentierte Gut ein Gebot abgegeben werden. Nach Abgabe des Gebots wird durch Zufall ein Preis aus einer zuvor festgelegten Serie von Preisen gezogen. In der Kaufbedingung muss der Bieter das Gut kaufen, sofern der gebotene Preis höher als der gezogene Preis ist. In der Verkaufsbedingung muss er das Gut verkaufen, sofern der gebotene Preis niedriger als der gezogene ist. Das Verfahren ist zur Offenbarung des wahren subjektiven Werts eines Gutes geeignet.

Deutung lässt sich darauf gründen, dass die Probanden im Anschluss an das Experiment von ihren Zweifeln bezüglich des Verkaufs ihrer Musikstücke berichteten (Weber et al., 2007). Eine weitere Studie konnte zeigen, dass Aktivierungen in der Insula die Empfänglichkeit für den Besitzumseffekt vorhersagen (Knutson, Wimmer, Rick, Hollon, Prelec, & Loewenstein, 2008).

Die genannten Untersuchungen zu Framing-Effekt, Status-Quo-Bias und Besitzumseffekt bestätigen den Einfluss kontextueller Effekte auf Entscheidungsverhalten unter Beteiligung von Strukturen des dopaminergen Systems. Dennoch ist darauf zu verweisen, dass auch kontextunabhängige neuronale Aktivität gemessen wurde. Es existieren Befunde dazu, dass die Aktivität in einigen Neuronen (insbesondere im OFC) in bestimmten Verhaltenskontexten menüinvariant ist, d.h. dass sie die Transitivität bei Entscheidungen (Kreps, 1990) widerspiegelt (Padoa-Schioppa, 2011; Padoa-Schioppa & Assad, 2008). Aufgrund dessen sollten solche menüinvarianten Neurone keine Rolle dabei spielen, kontextuelle Effekte auf Entscheidungsverhalten zu vermitteln. Allerdings konnte auch gezeigt werden, dass Wertrepräsentationen im OFC nicht menüinvariant sind (O'Doherty, 2011). Weiterhin sind Neurone in anderen Regionen, wie in der Area intraparietalis lateralis (LIP), menüabhängig, d.h. sie vermitteln kontextuelle Einflüsse auf Entscheidungen (Dorris & Glimcher, 2004).

1.4. Intertemporale Entscheidungen

Samuelson (1937) untersuchte einen besonderen Typus menschlicher Entscheidungen: Entscheidungen zwischen Optionen, die mit verschiedenen Zeitpunkten in Verbindung stehen (intertemporale Entscheidungen). Es handelt sich dabei um binäre Entscheidungen, z.B. ob eine Person lieber 10 Geldeinheiten heute oder 20 Geldeinheiten in einem Monat bekommen möchte. Dabei machte Samuelson die Beobachtung, dass Menschen im Allgemeinen früher verfügbaren Nutzen (d.h. früher verfügbare Belohnungen) bevorzugen und später verfügbaren Nutzen (d.h. später verfügbare Belohnungen) geringer bewerten, diese also zeitlich diskontieren. Samuelson (1937) entwickelte eine exponentielle Entscheidungsfunktion, welche diese Auffälligkeit modellieren sollte. Diese Funktion erfasste, dass der Wert einer Option pro Zeiteinheit um einen fixen Prozentsatz abnahm. Auf Samuelsons exponentiellem Entscheidungsmodell (Samuelson, 1937) basieren eine Reihe von Axiomatisierungen (z.B. Fishburn & Rubinstein, 1982; Koopmans, 1960; Lancaster, 1963). Es wurden Axiome entwickelt, bei deren Einhaltung sichergestellt ist, dass ein Entscheider der exponentiellen Funktion folgt und somit seinen Nutzen unter Berücksichtigung der Diskontierung später verfügbarer Optionen maximiert (siehe insb. Fishburn & Rubinstein, 1982).

Im Rahmen intertemporaler Entscheidungen wurden ebenso wie bei anderen Konsumentenentscheidungen Inkonsistenzen entdeckt, die trotz der Annahme einer exponentiellen Diskontierungsfunktion (Samuelson, 1937) nicht mit der Vorstellung eines rationalen Entscheiders vereinbar sind (Prelec & Loewenstein, 1991). Beispielsweise würden bei einer Entscheidung zwischen 10€ heute und 12€ in zwei Wochen, die meisten Menschen die früher verfügbare Option wählen, wohingegen bei 10€ in drei Monaten versus 12€ in drei Monaten und zwei Wochen die meisten Menschen die später verfügbare Option wählen würden. Die zeitliche Verzögerung ist in beiden Fällen identisch, doch der Zeitpunkt der früheren Option ist unterschiedlich. Nach einem exponentiellen Modell sollten sich Personen in beiden Fällen gleich entscheiden. Ansonsten würde das Stationaritätsaxiom verletzt werden, das besagt, dass ausschließlich die zeitliche Differenz, nicht aber der Zeitpunkt der früheren Option relevant ist (Fishburn & Rubinstein, 1982). Solche Entscheidungsinconsistenzen führten zur Entwicklung alternativer Entscheidungsfunktionen, die diese Inkonsistenzen modellieren. Ainslie (1975) nahm bereits früh an, dass hyperbolische Funktionen zeitlich inkonsistente Entscheidungen besser erklären können. Die Versuche von Mazur (1987) bestätigten dies später anhand von Experimenten an Tauben. Es gab zunehmend mehr Befunde, dass hyperbolische Funktionen das Verhalten bei intertemporalen Entscheidungen besser als exponentielle Funktionen widerspiegeln (für einen Überblick siehe Soman, Ainslie, Frederick, Li, Lynch, Moreau, Mitchell, Read, Sawyer, & Trope, 2005). Laibson (1997) entwickelte eine quasi-hyperbolische Funktion, die qualitativ

einer Annäherung einer normalen hyperbolischen Funktion entspricht, aber im Gegensatz zu hyperbolischen Standardfunktionen langfristig die exponentielle Komponente stärker einbezieht. Es konnte gezeigt werden, dass auch diese Funktion intertemporale Entscheidungen erklären kann (Angeletos, Laibson, Repetto, Tobacman, & Weinberg, 2001). Einen Überblick über die beschriebenen Diskontierungsfunktionen gibt Abbildung 3.

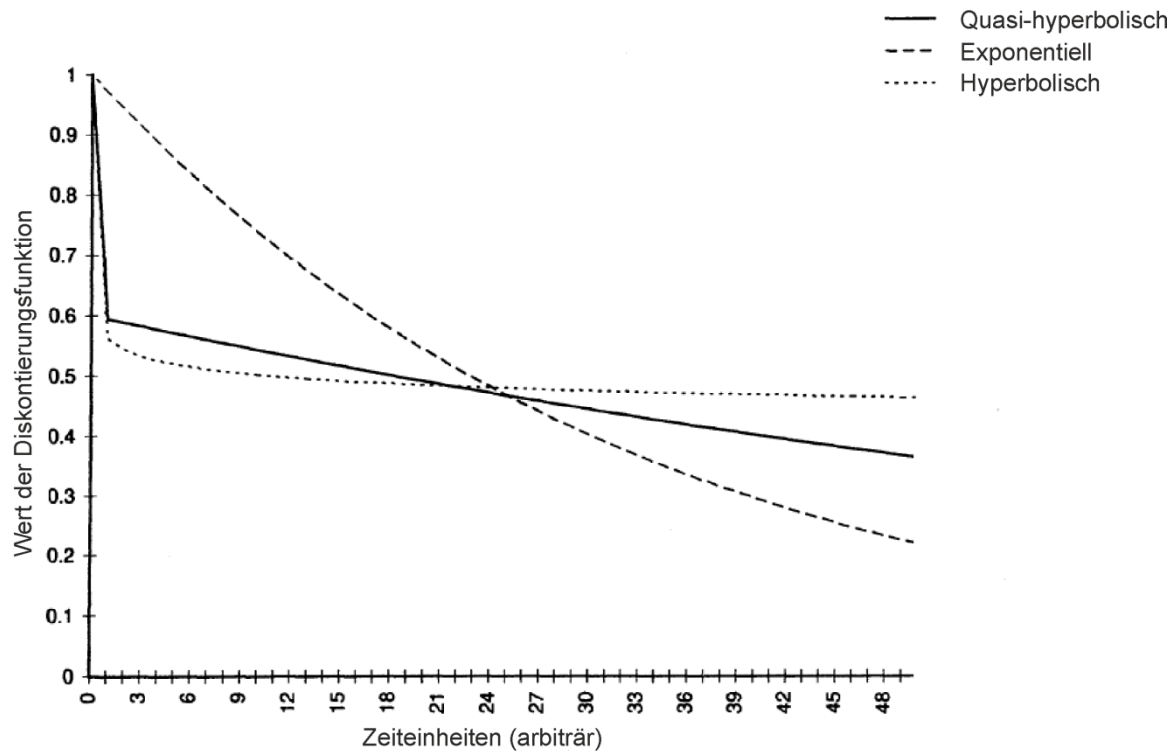


Abbildung 3. Formen verschiedener Diskontierungsfunktionen, die zur Erklärung intertemporalen Entscheidungsverhaltens herangezogen werden können (quasi-hyperbolisch, hyperbolisch und exponentiell). Diese Abbildung wurde aus Laibson (1997) entnommen und adaptiert.

An dem Effekt der Übergewichtung des Wertes früher gegenüber dem später verfügbarer Optionen bei intertemporalen Entscheidungen wurde seit Beginn der Jahrtausendwende intensiv geforscht (für einen Überblick siehe Moreira, Pinto, Almeida, Barros, & Barbosa, 2016). In der frühen fMRT-Forschung wurde basierend auf einer quasi-hyperbolischen Diskontierungsfunktion davon ausgegangen, dass zwei unterschiedliche neuronale Systeme für die Verarbeitung früher und später verfügbarer Optionen verantwortlich sind. Bei Entscheidungen für die früher verfügbare Option wurden dopaminerg innervierte Regionen wie das ventrale Striatum und der mPFC gefunden, wohingegen Regionen wie der laterale präfrontale Kortex (LPFC) an Entscheidungen für die später verfügbare Option beteiligt zu sein schienen (McClure, Laibson, Loewenstein, & Cohen, 2004). Auf Basis der Analyse von intertemporalen Entscheidungsdaten nach einem Modell des bestärkenden Lernens wurde allerdings eine spezifischere Rolle für die Insula und das Striatum ermittelt (Tanaka, Doya,

Okada, Ueda, Okamoto, & Yamawaki, 2004): In einer Markow-Entscheidungsaufgabe sollten die Probanden von Tanaka et al. (2004) einmal Handlungen erlernen, mit denen sie kleine unmittelbare Belohnungen erhalten konnten, und in einer anderen Bedingung sollten sie Handlungen lernen, die zu größeren in der Zukunft liegenden Belohnungen führten. Sowohl im Kontext der unmittelbaren Belohnungen als auch beim Lernen der zukünftigen Belohnungen wurden fMRT-Aktivierungen im OFC und Striatum gefunden, wobei sich im Kontext der zukünftigen Belohnungen zusätzlich Aktivierungen im DLPFC, im inferioren parietalen Kortex, im Cerebellum und in den Raphe-Kernen ergaben. Anhand eines Computational Models wurde entdeckt, dass sowohl in der Insula als auch im Striatum dorsoposteriore Regionen an der Vorhersage zukünftiger Belohnungen und ventroanteriore Regionen an der Prädiktion unmittelbarer Belohnungen beteiligt waren (Tanaka et al., 2004).

Später wurde auf der Basis eines hyperbolischen Diskontierungsmodells argumentiert, dass die dopaminergen Regionen nicht die Entscheidung für die frühere Option widerspiegeln, nur weil sie zeitlich früher angesiedelt ist, sondern den erhöhten subjektiven Wert dieser Option codieren (Kable & Glimcher, 2007, 2010). Das spricht dafür, dass bei intertemporalen Entscheidungen dieselben Strukturen subjektive Werte repräsentieren wie bei anderen Entscheidungsparadigmen und Entscheidungsphänomenen (siehe Abschnitt 1.3.1). In einer Metaanalyse untersuchten Carter, Meyer und Huettel (2010) anhand einer Aktivierungswahrscheinlichkeitsschätzung (engl. activation likelihood estimation; ALE), welche Regionen an intertemporalen Entscheidungen konsistent beteiligt sind. Aus der ALE kristallisierten sich zwei Netzwerke heraus: Das eine beinhaltete Regionen, die für Werte sensitiv sind (ventrales Striatum, OFC, mPFC, anteriore Insula und PCC) und das andere umfasste Regionen, die mit Zukunftsplanung, dem autobiographischen Gedächtnis und weiteren Prozessen assoziiert sind (inferiorer präfrontaler Kortex, temporal-parietaler Kortex, perisplenialer PCC und mPFC), für die es Annahmen gibt, dass sie ein gemeinsames Netzwerk bilden (Spreng, Mar, & Kim, 2009). Diese beiden Netzwerke scheinen sich allerdings zu überlappen, da der mPFC beiden zugeordnet wurde. Die Involvierung des mPFC deutet auf dopaminerge Einflüsse bei intertemporalen Entscheidungen hin. Es existieren zudem Befunde, dass bei intertemporalen Entscheidungen Bewertungs- und Entscheidungsprozesse klar voneinander abgegrenzt werden können. Die Bewertung von Optionen scheint Regionen des dopaminergen Belohnungssystems anzusprechen (vmPFC, ventrales Striatum) und die Wahl von Optionen wurde mit dem DLPFC und dem inferioren präfrontalen Kortex in Verbindung gebracht (Liu, Feng, Wang, & Li, 2012). Dies deckt sich mit den beiden Netzwerken aus der Metaanalyse von Carter et al. (2010) und lässt darauf schließen, dass das dopaminerge System für die Bewertung von intertemporalen Entscheidungsoptionen ausschlaggebend ist (siehe unten für eine Diskussion pharmakologischer Befunde). Untersuchungen an Rhesusaffen anhand von

Einzelzelleableitungen ergaben, dass Neurone im dorsalen Striatum den Werteunterschied zwischen intertemporalen Entscheidungsoptionen encodieren und Neurone im ventralen Striatum die Summe der Werte der jeweils verfügbaren Optionen repräsentieren (Cai, Kim, & Lee, 2011). Für einen Überblick zu neurowissenschaftlichen Befunden bei intertemporalen Entscheidungen siehe Sellitto, Ciaramelli und di Pellegrino (2011).

Mit intertemporalen Entscheidungen assoziierte Konzepte sind Impulsivität und Selbstkontrolle (Peters & D'Esposito, 2016). Zeitliche Diskontierungen können als Maß für Impulsivität und Selbstkontrolle verwendet werden: Personen, die die früh verfügbaren Optionen stark bevorzugen, können als impulsiv beschrieben werden und es kann angenommen werden, dass sie eine verringerte Selbstkontrolle aufweisen, da sie nicht auf verzögerte Belohnungen warten möchten oder können (Takahashi, Ikeda, & Hasegawa, 2007). Selbstkontrolle scheint über eine Interaktion des LPFC und OFC vermittelt zu werden: Nach einem aktuellen Modell zur Selbstkontrolle sind subjektive Belohnungswerte zum Zeitpunkt der Entscheidung im OFC repräsentiert und werden über den LPFC für eine erfolgreiche Selbstkontrolle moduliert (Figner, Knoch, Johnson, Krosch, Lisanby, Fehr, & Weber, 2010; Hare, Camerer, & Rangel, 2009).

Aus der Theorie von Niv und Kollegen (2007) lassen sich Implikationen zum Einfluss von Dopamin auf intertemporale Entscheidungen ableiten (siehe auch Abschnitt 1.2). Die Entscheidung für die kleinere frühere oder für die größere spätere Belohnung können Personen von der Höhe der Belohnung pro Zeiteinheit und von den Kosten des Wartens auf den verzögerten Erhalt der später verfügbaren Belohnung abhängig machen. Wenn die durchschnittliche Belohnungsrate hoch ist, sind die Opportunitätskosten der Zeit, also die Kosten des Wartens auf die spätere Belohnung hoch, d.h. es wird viel Belohnendes verpasst, während gewartet wird. Demnach ist jeder Moment, in dem gewartet wird, kostspielig, wenn die durchschnittliche Belohnungsrate hoch ist. Deshalb sollten die später verfügbaren Optionen in solchen Fällen stärker diskontiert werden und mehr Entscheidungen zu Gunsten der früher verfügbaren Alternativen ausfallen (Cools et al., 2011). Sofern die Aktivität tonisch dopaminergener Neurone die durchschnittliche Belohnungsrate repräsentiert, sollten demnach höhere Dopaminlevel zu einer erhöhten zeitlichen Diskontierung führen. Aus Patientenstudien ergeben sich bereits Hinweise darauf, dass das dopaminerge System eine Rolle bei zeitlicher Diskontierung spielen sollte. So konnten bei Drogenabhängigen, deren dopaminerges System einer chronischen Stimulation ausgesetzt ist, hohe Diskontierungen zukünftiger Belohnungen und somit eine starke Bevorzugung früher verfügbarer Optionen festgestellt werden (Bickel, Miller, Yi, Kowal, Lindquist, & Pitcock, 2007). Zudem existieren pharmakologische und bildgebende Befunde anhand von L-Dopa und fMRT, die diese Annahmen bestärken (Pine, Shiner, Seymour, & Dolan, 2010). Die

Aminosäure L-Dopa erhöht sowohl die phasische als auch die tonische Aktivität dopaminerger Neurone (Cools, 2006; Rodriguez, Morales, González-Mora, Gomez, Sabate, Dopico, Rodríguez-Oroz, & Obeso, 2007). Pine und Kollegen (2010) demonstrierten, dass der Wert der zukünftigen Option über die Zeit in der Bedingung, in der L-Dopa verabreicht wurde, gegenüber einer Placebo-Kontrollbedingung stärker abnimmt. Weiterhin ergaben sich Aktivierungen im Striatum, die mit dem Diskontierungsfaktor (D) korrelierten. Die striatalen Aktivierungen waren zudem im Vergleich zur Kontrollbedingung stärker in der Experimentalbedingung, in der L-Dopa verabreicht wurde, ausgeprägt. Bei dem Diskontierungsfaktor D handelt es sich in der Untersuchung von Pine et al. (2010) um eine hyperbolische Funktion (Mazur, 1987), die einen Wert zwischen 0 und 1 annehmen kann und in deren Berechnung die individuelle Diskontierungsrate (k) eingeht, welche bestimmt, wie stark eine Person zukünftige Belohnungen diskontiert ($D = 1 / (1 + k * \text{zeitliche Verzögerung})$). Personen mit hohem k-Parameter werten Belohnungen schnell ab, wenn sich diese zeitlich distanzieren. Der Diskontierungsfaktor D ist abhängig von der spezifischen zeitlichen Verzögerung zwischen dem früher und dem später verfügbaren Betrag. Würde D mit dem später verfügbaren Betrag multipliziert werden, würde daraus der früher verfügbare Betrag resultieren. So lässt sich anhand von D die Höhe des später verfügbaren Betrags unter Berücksichtigung der zeitlichen Verzögerung und des individuellen Ausmaßes (k), in dem eine Person zukünftige Belohnungen diskontiert, berechnen. Der Diskontierungsfaktor D lässt sich invers zur Diskontierungsrate k interpretieren: Ein geringer D-Wert spiegelt wider, dass die entsprechende Person zukünftige Belohnungen stark diskontiert, d.h. unmittelbare Belohnungen stark gegenüber verzögerten Belohnungen bevorzugt (siehe Pine et al., 2010).

Es ist allerdings auch möglich, dass eine erhöhte dopaminerge Aktivität keine erhöhte Diskontierung der zukünftigen Beträge bewirkt. Es existieren Hinweise darauf, dass, im Gegenteil zu den zuvor diskutierten Annahmen, erhöhte Dopaminlevel zu einer Abnahme der Diskontierung zukünftig verfügbarer Beträge führen. So zeigten de Wit, Enggasser und Richards (2002) erstmals am Menschen, dass die Verabreichung des Stimulans d-Amphetamin den k-Parameter bei einer intertemporalen Entscheidungsaufgabe verringerte. Die dopaminerge Aktivität wurde in der Untersuchung von de Wit et al. (2002) durch d-Amphetamin manipuliert, da d-Amphetamin neben der Menge an extrazellulär verfügbarem Noradrenalin, auch die extrazellulären Dopaminlevel erhöht (Kuczenski & Segal, 1997). Möglich ist, dass in Untersuchungen, in denen d-Amphetamin verwendet wurde, andere Effekte dieser Substanz für verringerte Diskontierungen verantwortlich waren als eine Erhöhung der dopaminergen Aktivität. In einer Untersuchung von Winstanley, Dalley, Theobald und Robbins (2003) entschieden sich Ratten bei einer Diskontierungsaufgabe nach der Verabreichung von d-Amphetamin vermehrt für die später verfügbaren Belohnungen. Wurde ihnen allerdings das serotonerge Neurotoxin 5.7-

Dihydroxytryptamin (5.7-DHT) verabreicht, das zu einem starken Serotonin-Schwund führt, wurde dieser Diskontierungseffekt abgeschwächt. Bei gleichzeitiger Verabreichung von d-Amphetamin und einem Dopamin-Antagonisten verschwand der Diskontierungseffekt bei den Ratten, denen 5.7-DHT injiziert wurde, jedoch nicht bei einer Kontrollgruppe von Ratten, die diese Injektion nicht bekamen. Demnach ist das serotonerge System, welches durch d-Amphetamin beeinflusst wird (siehe auch Kuczenski, Segal, Leith, & Applegate, 1987), für den Effekt der Bevorzugung der später verfügbaren Belohnungen entscheidend.

Weiterhin wurde in einer aktuellen Studie ein Modell zu entgegengesetzten Effekten von tonischem und phasischem Dopamin entwickelt, demzufolge phasisches Dopamin über den vmPFC und NAc zu einer Bevorzugung der Optionen mit früher verfügbaren Belohnungen führen sollte und die Präferenz für Optionen mit später verfügbaren Belohnungen durch den Einfluss von tonischem Dopamin auf den DLPFC, mPFC, ACC und Nucleus caudatus getrieben sein sollte (Volkow & Baler, 2015). Nach Volkow und Baler (2015) steht die Wahrnehmung der verfügbaren Belohnung aufgrund ihrer Salienz mit einem schnellen und starken Anstieg synaptischer Dopaminlevel im NAc in Verbindung. Der vmPFC verstärke dann die über den NAc vermittelten Informationen zur Belohnungssalienz, indem er den Wert der Belohnung verarbeite. Diese phasisch vermittelte Belohnungsverarbeitung begünstige die Wahl früher verfügbarer Belohnungen. Auf der anderen Seite überwache der ACC Konflikte zwischen den Erwartungen an die Beschaffenheit der Entscheidungsoptionen und der tatsächlichen Beschaffenheit der Optionen. Weiterhin prüfe der ACC den Grad an Ungewissheit, der bei der Entscheidung zwischen den beiden Optionen besteht. Er leite dann diese Informationen an inhibitorische Netzwerke exekutiver Kontrolle weiter, die über den DLPFC, mPFC und Nucleus caudatus gesteuert werden. Inhibitorische Einflüsse werden nach Volkow und Baler (2015) durch tonisches Dopamin begünstigt, indem es die Aktivität des DLPFC aufrechterhält. Diese tonisch vermittelte exekutive Kontrolle begünstige die Wahl später verfügbarer Belohnungen. Der OFC vermittele außerdem prädiktive Informationen über die zur Wahl stehenden Optionen und damit assoziierte Belohnungen und ermögliche dadurch einen Wechsel zwischen der Bevorzugung von Optionen mit früher und später verfügbaren Belohnungen. In diesem Modell sind mit bestimmten Hirnregionen assoziierte Einflüsse auf intertemporale Entscheidungen integriert, die die Interaktion zwischen phasischem und tonischem Dopamin und somit die Entscheidungen beeinflussen können. Dabei handelt es sich um Emotionen (Amygdala), interozeptive Informationen (somatosensorischer Kortex und Insula), belohnungsbezogene Erinnerungen (Hippocampus) und Enttäuschungen aufgrund fehlender Belohnungen (laterale Habenula). Dieses Modell liefert einen neuronalen Mechanismus, der tonisches und phasisches Dopamin integriert sowie die Basis für kontextuelle Einflüsse auf intertemporale Entscheidungen bieten kann.

1.5. Neuheit und Langeweile

1.5.1. Neuheit

Neuheit von Situationen oder Stimuli spielt für das Überleben von Säugetieren eine entscheidende Rolle. So führt Neuheit in der Umwelt eines Lebewesens zu einer Orientierungsreaktion (Sokolov, 1963), die die Exploration dieser neuen Begebenheiten oder Stimuli einleitet (Berlyne, 1950). Evolutionsbiologisch erscheint dieses Verhalten plausibel, da auf diese Weise bisher unbekannte Belohnungen (oder Gefahren) detektiert werden können, was dem Lebewesen einen Selektionsvorteil verschaffen kann (siehe auch Mesulam, 1998).

Im Rahmen von Neuheit kann insbesondere zwischen Stimulus-Neuheit, assoziativer Neuheit und kontextueller Neuheit unterschieden werden. Neue Stimuli sind solche, die noch nie zuvor erlebt wurden. Ein neuer Stimulus kann einen intrinsischen motivationalen Faktor darstellen, der an sich einen Belohnungswert hat (Reed, Mitchell, & Nokes, 1996). Assoziative Neuheit umfasst Stimuli, die an sich zwar vertraut sind, aber in einer neuen Konfiguration dargeboten werden (Nyberg, 2005). An sich kann Neuheit auch ein motivationales Signal darstellen, welches exploratives Verhalten antreibt (Kakade & Dayan, 2002). Neuheit kann auch als kontextueller Faktor wirken, wenn ein neuer Stimulus in einem Kontext vorkommt, in dem er andere Prozesse beeinflusst (z.B. Bunzeck, Guitart-Masip, Dolan, & Düzel, 2011; Guitart-Masip, Bunzeck, Stephan, Dolan, & Düzel, 2010a). In diesem Fall geht es um den Einfluss von Stimulus-Neuheit auf andere Prozesse. Das heißt, wenn neue Stimuli im Hintergrund einen Einfluss auf einen anderen Effekt haben oder, anders formuliert, andere Prozesse im Kontext von Neuheit beeinflusst werden, kann von einem Kontexteinfluss von Stimulus-Neuheit oder einem Einfluss von Stimulus-Neuheit auf andere Prozesse (in einem bestimmten Kontext) gesprochen werden. Wenn Stimulus-Neuheit als kontextueller Faktor auftritt, der auf andere Prozesse wirkt, wird in der vorliegenden Arbeit der Einfachheit halber von kontextueller Neuheit gesprochen. Im Gegensatz dazu wird üblicherweise von kontextueller Neuheit gesprochen, wenn ein Stimulus oder ein Ereignis in einer bestimmten Situation unerwartet auftritt (für verschiedene Differenzierungen von Formen der Neuheit siehe Kumaran & Maguire, 2007; Ranganath & Rainer, 2003).

Es ist wahrscheinlich, dass Einflüsse kontextueller Neuheit dadurch vermittelt werden, dass in diesem Sinne neue Stimuli das dopaminerge Mittelhirn aktivieren (Krebs, Heipertz, Schuetze, & Düzel, 2011). Ein möglicherweise dem zugrunde liegender Effekt ist, dass Neuheit die Verarbeitung von Belohnungen beeinflusst (Bunzeck et al., 2011; Guitart-Masip et al., 2010a). Guitart-Masip und Kollegen (2010a) präsentierten ihren Probanden im fMRT anhand eines ereigniskorrelierten Designs entweder einen neuen oder einen vertrauten Stimulus und kurz danach einen belohnungsvorhersagenden Hinweisreiz. Daraufhin

erhielten die Probanden das entsprechende Outcome (10 Pence Belohnung oder keine Belohnung, 0 Pence). Es ergab sich ein Anstieg der Aktivität im Striatum, einhergehend mit einem Anstieg der Belohnungswahrscheinlichkeit, was - basierend auf früheren Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen Belohnungsreizen und dem dopaminerg innervierten Striatum - zu erwarten war (siehe z.B. Knutson, Westdorp, Kaiser, & Hommer, 2000; O'Doherty, Dayan, Friston, Critchley, & Dolan, 2003). Interessanterweise wurden in der Bedingung, in der neue Stimuli präsentiert wurden, im Vergleich zur Bedingung mit den vertrauten Stimuli erhöhte striatale Aktivierungen auf belohnungsvorhersagende Hinweisreize gefunden. Mit einem ähnlichen Design fanden Bunzeck und Kollegen (2011) in einer MEG-Studie ergänzende Ergebnisse. In der Neuheitsbedingung wurde eine - im Vergleich zur Vertrautheitsbedingung - erhöhte oszillatorische Beta-Power in den zentralen und frontozentralen MEG-Sensoren bei belohnungsvorhersagenden Hinweisreizen festgestellt. Diese Steigerung der neuronalen Antwort durch kontextuelle Neuheit war zwischen 142 und 254 ms nach Präsentationsbeginn des Hinweisreizes ersichtlich. Das spricht für einen physiologisch früh eintretenden Neuheitseffekt, der die Verarbeitung von Belohnungen sehr schnell modulieren kann (siehe Bunzeck et al., 2011). Der Zeitrahmen, in dem eine Modulation durch kontextuelle Neuheit gemessen wurde, steht im Einklang mit Ergebnissen aus Tierstudien, bei denen eine gesteigerte Aktivität dopaminergener Neurone des Mittelhirns als Reaktion auf Belohnungshinweisreize zwischen 90 und 240 ms nach Präsentationsbeginn ermittelt wurde (Tobler, Fiorillo, & Schultz, 2005). Demnach scheint Neuheit bereits diese frühen Signale zu modulieren.

Diese Einflüsse auf die Belohnungsverarbeitung durch kontextuelle Neuheit könnten durch die Hippocampus-VTA-Schleife (Lisman & Grace, 2005) geschehen sein. Nach dem Modell von Lisman und Grace (2005) stellt die Detektion der Neuheit durch den Hippocampus dafür den Ausgangspunkt dar. Zur Erkennung von Neuheit sollten eintreffende Informationen mit im Gedächtnis gespeicherten Informationen zunächst durch den Hippocampus abgeglichen werden (Knight, 1996). Die Annahme, dass Neuheit im Hippocampus detektiert wird, konnte auch in der jüngeren Forschung bestätigt werden. Beispielsweise ergaben sich im fMRT erhöhte Aktivierungen im Hippocampus bei der Präsentation neuer versus vertrauter Bilder (Wittmann, Bunzeck, Dolan, & Düzel, 2007). Anhand von intrakranieller Elektroenzephalographie wurden zeitlich schnell eintretende Ausschläge im Hippocampus (nach 187 ms) bei der Darbietung neuer im Vergleich zu vertrauten Bildern aufgezeichnet (Axmacher, Cohen, Fell, Haupt, Düpelmann, Elger, Schlaepfer, Lenartz, Sturm, & Ranganath, 2010). Neuheit führt im Modell von Lisman und Grace (2005) zu verstärkten exzitatorischen glutamatergen Projektionen des Subiculus auf Neurone im NAc, die auf γ -Aminobuttersäure (GABA) reagieren (GABAerge Neurone), wodurch diese eine stärkere inhibitorische Wirkung bekommen. Diese GABAergen Neurone hemmen dadurch verstärkt

GABAerge Neurone im ventralen Globus pallidus, wodurch diese eine geringere inhibitorische Wirkung haben. Diese GABAergen Neurone projizieren zur SN/VTA und die Verringerung der Hemmung dieser inhibitorischen Projektionen führt zur Abnahme der Hemmung dopaminergener Neurone in der SN/VTA, also zu einer Erhöhung der Anzahl tonisch aktiver dopaminergener Neurone im Mittelhirn (abwärtsgerichtete Kurve der Hippocampus-VTA-Schleife). Nur tonisch aktive dopaminerge Neurone können in einen phasischen Feuermodus überführt werden (Floresco, West, Ash, Moore, & Grace, 2003; Goto & Grace, 2008; Lodge & Grace, 2006). Daraus lässt sich ableiten, dass eine neuheitsinduzierte Erhöhung tonischer Aktivität in dopaminergen Neuronen der SN/VTA phasische dopaminerge Signale erleichtern und verstärken kann. Auf diese Weise könnten neue Stimuli auch an sich ein phasisches Feuern dopaminergener Neurone bewirken oder verstärken, indem sie (neben der Erhöhung tonischer Aktivität durch ihre Neuheit) phasische Aktivität durch andere Attribute wie Salienz auslösen (vergleiche Lisman & Grace, 2005). Im Einklang damit steht, dass in Tierstudien mit Katzen und Affen gezeigt werden konnte, dass dopaminerge Neurone mit phasischem Feuern auf neue saliente Stimuli reagieren (Ljungberg, Apicella, & Schultz, 1992; Steinfels, Heym, Strecker, & Jacobs, 1983). Hinweisreize, die Belohnung vorhersagen, rufen bekanntermaßen phasische Aktivität in dopaminergen Neuronen hervor (Schultz, 1998; siehe Abschnitt 1.2). Basierend auf dem beschriebenen Mechanismus der Hippocampus-VTA-Schleife könnte die erhöhte Wirkung der belohnungsvorhersagenden Hinweisreize im Kontext der Neuheit bei den Untersuchungen von Guitart-Masip et al. (2010a) und Bunzeck et al. (2011) über eine stärkere phasische Aktivität dopaminergener Neurone ausgelöst worden sein.

Pharmakologische Studien deuten darauf hin, dass neuheitsbasierte Entscheidungen durch Dopamin moduliert werden (Costa, Tran, Turchi, & Averbeck, 2014). Es konnte gezeigt werden, dass nicht nur neue Stimuli, sondern auch die Antizipation von Neuheit das dopaminerge Belohnungssystem anspricht (Wittmann et al., 2007). Dopaminerge Neurone reagieren auf Belohnungshinweisreize, unvorhergesehene Belohnungen und neue Reize (Horvitz, 2000; Schultz et al., 1997). Wenn Neuheit dafür genutzt wird, die Umwelt auf der Suche nach Belohnungen auszukundschaften, lässt sich von einem „Neuheitsbonus“ sprechen (Kakade & Dayan, 2002). Die SN/VTA vermittelt individuelle Differenzen bei Neuheitsboni (Wittmann, Daw, Seymour, & Dolan, 2008). Sie wird durch Neuheit (Bunzeck & Düzzel, 2006; Schultz et al., 1997) und durch Hinweisreize, die Neuheit vorhersagen (Wittmann et al., 2007) aktiviert. Neue belohnungsvorhersagende Stimuli erhöhen die funktionelle Konnektivität zwischen der SN/VTA und dem dopaminerg innervierten NAc sowie dem Hippocampus (Krebs et al., 2011).

Es ist anzunehmen, dass kontextuelle Neuheit auch intertemporale Entscheidungen über eine dopaminerge Modulation beeinflusst. Es lässt sich folgender Zusammenhang aufstellen: Kontextuelle Neuheit erhöht die tonische Aktivität dopaminerger Neurone über die Hippocampus-VTA-Schleife (Lisman & Grace, 2005). Dadurch könnten die durchschnittliche Belohnungsrate und somit die Opportunitätskosten der Zeit erhöht werden (Cools et al., 2011; Niv et al., 2007; siehe Abschnitt 1.2), was zu einer erhöhten Diskontierung zukünftiger Optionen bei intertemporalen Entscheidungen führen sollte. Deshalb sollten unter dem Einfluss kontextueller Neuheit mehr (und möglicherweise schnellere) Entscheidungen zu Gunsten der früher verfügbaren Optionen bei intertemporalen Entscheidungen ausfallen. Sofern dieser tonische Einfluss allerdings einem möglichen Neuheitseffekt zugrunde liegen sollte, müssten sich Effekte ergeben, die mehr als eine Stunde lang anhalten. In einer Studie mit Ratten wurde beispielsweise demonstriert, dass die tonische dopaminerge Aktivität im NAc von Ratten ungefähr zwei Stunden lang erhöht war, wenn die Tiere mit einem neuen Käfig interagierten (Legault & Wise, 2001).

Kurzzeitige Neuheitseinflüsse mit einer Wirkungsdauer von wenigen Sekunden ließen sich hingegen durch phasische dopaminerge Einflüsse erklären: Die durch kontextuelle Neuheit erhöhte Verfügbarkeit tonischer Dopaminlevel bewirkt, dass mehr Neurone in einen phasischen Zustand des Feuern versetzt werden können, welcher durch die neuen Stimuli an sich (siehe Lisman & Grace, 2005) oder durch die Präsentation der intertemporalen Entscheidungsoptionen als belohnungsvorhersagende Hinweisreize (Guitart-Masip et al., 2010a) im Bereich von Zehnteln einer Sekunde induziert werden kann (Bunzeck et al., 2011). Dieser phasische Effekt würde eine erhöhte Belohnungsreaktivität bewirken. Das sollte dazu führen, dass schnell verfügbare Belohnungen präferiert werden. Mit einem derartigen phasischen Einfluss könnte die Annahme einhergehen, dass durch kurz dargebotene Neuheitsreize die Gesamtmenge tonisch aktivierter dopaminerger Neurone nicht ausreichend ist, um die durchschnittliche Belohnungsrate auf ein Level zu bringen, das intertemporale Entscheidungen länger anhaltend beeinflusst.

Neben dem dopaminergen System scheint auch das noradrenerge System eine Rolle bei der Verarbeitung von Neuheit zu spielen. Frühere Studien zeigen, dass eine durch kontextuelle Neuheit ausgelöste Orientierungsreaktion mit Arousal⁵ einhergeht (siehe auch Sara & Bouret, 2012), was sich in einer erhöhten Pupillendilatation und spezifischen Potentialen im Elektroenzephalographen äußert, insbesondere in einer Komponente mit ca. 300 ms Latenz und positiver Polarität (P3-Komponente; Escera, Yago, & Alho, 2001; Sokolov, 1963). Dieses kortikale Arousal scheint durch Noradrenalin vermittelt zu werden (Harley, 1987) und die

⁵ Arousal meint einen allgemeinen Grad der Aktivierung/Erregung, der mit Aufmerksamkeit und Wachheit einhergeht (z.B. Paus, 2000).

Verarbeitung von weiteren Ereignissen beeinflussen zu können (Schomaker & Meeter, 2015). In einer aktuellen Untersuchung wurde gefunden, dass die Aktivität in Neuronen im noradrenergen Locus coeruleus mit darauf folgenden Veränderungen in der Pupillendilatation einhergeht (Joshi, Li, Kalwani, & Gold, 2016). In einer fMRT-Untersuchung korrelierte der Pupillendurchmesser weiterhin mit Aktivierungen im Locus coeruleus (Murphy, O'Connell, O'Sullivan, Robertson, & Balsters, 2014). Ratten, die mit neuen Objekten konfrontiert werden, zeigen eine erhöhte Aktivität im Locus coeruleus (Vankov, Hervé-Minvielle, & Sara, 1995) und es wurde gefunden, dass arousalauslösende Stimuli phasische Aktivierungen des Locus coeruleus bewirken können, was zu Leistungssteigerungen bei der Bearbeitung nachfolgender Aufgaben führen kann (Aston-Jones & Cohen, 2005; Nieuwenhuis, Aston-Jones, & Cohen, 2005). In einer Untersuchung von Ferrari, De Cesarei, Mastria, Lugli, Baroni, Nicoletti und Codispoti (2016) wurde der Pupillendurchmesser durch emotionale Inhalte moduliert, wobei diese Modulation entscheidend von der Neuheit der verwendeten Stimuli abhing.

1.5.2. Langeweile

Langeweile kann allgemein als aversiver motivationaler Zustand definiert werden, der als Reaktion auf Situationen auftritt, die sehr monoton und repetitiv sind, und sich aus dem unerfüllten Wunsch ergibt, eine zufriedenstellende Tätigkeit auszuführen (Eastwood, Frischen, Fenske, & Smilek, 2012; O'Hanlon, 1981; Vodanovich, 2003). Langeweile ist eine verbreitete Erfahrung, die mit einem starken Verlangen verbunden ist, die aktuelle Situation zu verändern oder ihr zu entkommen. Beispielsweise zeigten Havermans, Vancleef, Kalamatianos und Nederkoorn (2015) ihren Probanden einen monotonen und repetitiven Videoclip und gaben ihnen währenddessen die Möglichkeit, so viele Süßigkeiten zu konsumieren wie sie wollten. In einem weiteren Experiment bekam eine andere Probandengruppe die Möglichkeit, sich während des langweiligen Videoclips freiwillig Elektroschocks zu verabreichen. Als Kontrollbedingung diente jeweils die Vorführung einer interessanteren Dokumentation an Stelle des monotonen Videoclips. Es ergab sich, dass die Probanden in der langweiligen Bedingung mehr Süßigkeiten konsumierten und sich mehr Elektroschocks verabreichten. Das bekräftigt die Annahme, dass Personen den stark ausgeprägten Wunsch haben, der Langeweile zu entfliehen. Dass der Effekt der erhöhten Verabreichung von Elektroschocks im Zustand der Langeweile spezifisch auf den Versuch, Langeweile zu vermeiden, und nicht auf eine generelle Regulation negativer emotionaler Erfahrungen zurückzuführen ist, wurde in einem Anschlussexperiment von Nederkoorn, Vancleef, Wilkenhöner, Claes und Havermans (2016) überprüft. Den Probanden wurde entweder ein neutraler, trauriger oder langweiliger Videoclip dargeboten. Es zeigte sich, dass sich die Probanden in der langweiligen Bedingung mehr und intensivere Elektroschocks verabreichten als in den Kontrollbedingungen, was darauf hindeutet, dass der mit der

Verabreichung der Elektroschocks verbundene Drang, den aktuellen Zustand zu verändern, ein ausgeprägtes Merkmal der Langeweile darstellt.

Im Arbeitskontext berichten Personen oftmals, dass sie sich gelangweilt fühlen, wenn sie eine repetitive und monotone Aufgabe erledigen müssen, wodurch sie Bewältigungsstrategien wie das Tagträumen anwenden oder sich unruhig und hektisch bewegen (Smith, 1981). Außerhalb des Arbeitsumfelds, wenn Menschen ihre Aktivitäten frei wählen können, erhöht Langeweile die Tendenz, ungesunde Nahrung zu sich zu nehmen (Koball, Meers, Storfer-Isser, Domoff, & Musher-Eizenman, 2012; Moynihan, van Tilburg, Igou, Wisman, Donnelly, & Mulcaire, 2015), sie löst impulsives Einkaufsverhalten aus (Dittmar & Drury, 2000; Geuens, Vantomme, & Brengman, 2004; Mano, 1999) und motiviert zu Freizeitaktivitäten wie zum Musikhören (Mitchell, MacDonald, Knussen, & Serpell, 2007; North, Hargreaves, & O'Neill, 2000). Diese Befunde stehen im Einklang mit ökonomischen Theorien zur Rolle von Stimmungen und Emotionen bei Konsumentenverhalten (Alba & Williams, 2013; Andrade, 2015; Holbrook & Hirschman, 1982). Experimentell konnte gezeigt werden, dass Menschen, bei denen der Zustand der Langeweile induziert wurde, vermehrt riskante Entscheidungen treffen (Matthies, Philipsen, & Svaldi, 2012). Im Alltag können langweilige Situationen oft antizipiert werden und Konsumentenentscheidungen beeinflussen, wie z.B. beim Einkauf von Unterhaltungsprodukten für einen bevorstehenden Langstreckenflug (Geuens et al., 2004). Weiterhin kann Langeweile im Rahmen von Kaufentscheidungen auch zu einem Streben nach Abwechslung führen, z.B. wechseln Konsumenten die Marken ihrer Produkte häufig zur Vermeidung von Langeweile (Mitchell, 1992; Raju & Venkatesan, 1980). Es gibt auf Verhaltensebene einige Befunde, dass Shopping ein Mittel zur Abschwächung und Vermeidung von Langeweile sein kann (Fogel & Schneider, 2010; Workman & Studak, 2007). Für die vorliegende Arbeit ergibt sich daraus die Frage, was solche Entscheidungen zur Vermeidung von Langeweile antreibt. Der interne Zustand der Langeweile kann auch als das Gegenteil der Beschäftigung mit Neuheit angesehen werden. Langweilige Situationen sind durch einen Mangel an neuen Reizen charakterisiert (Smith, 1981) und im Gegensatz zur Langeweile ist Neuheit mit zuvor nicht erlebten Ereignissen (Bevins, 2001) und mit Stimulationsveränderungen assoziiert (Bevins, Klebaur, & Bardo, 1997). Es ist wahrscheinlich, dass Langeweile zu erfahren oder zu antizipieren einen Faktor darstellt, der Entscheidungen in Richtung hin zur Vermeidung von langweiligen Aufgaben und Situationen treibt.

In der jüngeren Forschung wurden Fragebögen zur Erfassung des Zustands der Langeweile entworfen. Anhand eines Fragebogens erhoben van Tilburg und Igou (2012) Gefühle, Gedanken, Handlungstendenzen, Handlungen und emotionale Ziele, die Personen im Zustand der Langeweile erfahren. Dabei wurde das Ziel verfolgt, Langeweile von anderen

affektiven Zuständen abzugrenzen. Es ergab sich, dass der Zustand der Langeweile durch Ruhelosigkeit und einen Mangel an Herausforderung geprägt ist und mit dem Gedanken einhergeht, dass die aktuelle Situation sinnlos ist (van Tilburg & Igou, 2012). Todman (2013) entwickelte mit dem „State Boredom Measure“ (SBM) einen weiteren Fragebogen, anhand dessen die Erinnerungen und die Wahrnehmung einer Person hinsichtlich Langeweile-Episoden (u.a. Häufigkeit und Dauer der Langeweile-Episoden sowie Attributionen bezüglich der Ursachen und Konsequenzen der Langeweile-Episoden) in einem bestimmten Zeitraum (z.B. innerhalb der letzten zwei Wochen) erhoben werden können. Todman (2013) schloss aus den Daten des SBM, dass Langeweile eine Signalfunktion hat, die Personen dazu motiviert, dem Status-Quo zu entkommen und stattdessen entweder eine effektivere Strategie zur Erkundung der aktuellen Situation zu wählen oder die alte Strategie beizubehalten, jedoch eine neue Situation aufzusuchen. Fahlman, Mercer-Lynn, Flora und Eastwood (2013) entwickelten weiterhin die „Multidimensional State Boredom Scale“ (MSBS), die folgende fünf Faktoren enthält: Disengagement (wörtlich: Losgelöstsein, Mangel an Beschäftigung), hohes Arousal, niedriges Arousal, Unaufmerksamkeit und veränderte Zeitwahrnehmung (Fahlman et al., 2013). Diese Faktoren laden auf einen übergeordneten allgemeinen Langeweilefaktor (Fahlman et al., 2013). Die MSBS wurde auf einer theoretischen und empirischen Basis entwickelt und wird sowohl durch explorative als auch konfirmatorische Faktorenanalysen gestützt (Fahlman et al., 2013). Der Faktor Disengagement umfasst Items, die ausdrücken, dass eine Person (1) nichts zu tun hat, (2) nicht weiß, was sie tun möchte und (3) dazu gezwungen ist, etwas zu tun, was sie nicht tun möchte. Dieser Faktor wurde als Hauptkomponente der Langeweile ermittelt (Fahlman et al., 2013). Aus einer psychophysiologischen Untersuchung von Merrifield und Danckert (2014) ergab sich, dass Langeweile sowohl mit einem hohen Arousal (z.B. Ruhelosigkeit und Aufregung), als auch mit einem geringen Arousal (z.B. Apathie und Mangel an Motivation) assoziiert ist. Hohes Arousal äußerte sich in einer erhöhten Herzfrequenz, wohingegen sich geringes Arousal in einer verminderten Hautleitfähigkeit zeigte (Merrifield & Danckert, 2014). Der Faktor Unaufmerksamkeit wurde bereits von Eastwood et al. (2012) als entscheidender Faktor herausgearbeitet: Nach Eastwood et al. (2012) tritt Langeweile auf, wenn u.a. gegeben ist, dass Personen nicht in der Lage sind, Aufmerksamkeit auf internale (z.B. Gedanken) oder externale Informationen (z.B. Umweltreize) zu richten, welche für die Ausübung zufriedenstellender Aktivitäten erforderlich sind. Der Faktor Zeitwahrnehmung gründet sich darauf, dass Personen, die anfällig für Langeweile sind, das Verstreichen von Zeit überschätzen, d.h. in ihrer Wahrnehmung, verstreicht die Zeit langsamer (Danckert & Allman, 2005). Weiterhin begehen für Langeweile anfällige Personen mehr Fehler bei der Zeiteinschätzung im Vergleich zu Personen, die weniger empfänglich für Langeweile sind (Danckert & Allman, 2005). Eine aktuelle Evaluation des MSBS von Hunter, Dyer, Cribbie

und Eastwood (2015) demonstriert, dass es sich bei den drei Faktoren Disengagement, Unaufmerksamkeit und Zeitwahrnehmung um die Komponenten handelt, anhand derer am besten zwischen gelangweilten und nicht gelangweilten Personen unterschieden werden kann. Neben den beschriebenen Fragebögen zur Erfassung von Langeweile existieren noch eine Reihe von kontextspezifischen Skalen zur Langeweile-Messung wie z.B. die „Job Boredom Scale“ (Lee, 1986) für den Arbeitskontext oder die „Academic Boredom Scale“ (Acee, Kim, Kim, Kim, Chu, Kim, Cho, Wicker, & Group, 2010) für den akademischen Kontext.

In aktuellen Studien wurden emotionale Korrelate des Zustands der Langeweile untersucht. Bei einer Untersuchung wurden Probanden im fMRT gescannt, während sie ein Ego-Shooter-Computerspiel⁶ spielten (Mathiak, Klasen, Zvyagintsev, Weber, & Mathiak, 2013). Während des Spiels wurden Phasen der Inaktivität im Hinblick auf Prä-Post-Scan-Unterschiede in positivem und negativem Affekt analysiert. Ein verringerter positiver Affekt war mit Aktivierungen in einem Cluster korreliert, das die Insula und die Amygdala umfasste. Erhöhter negativer Affekt war mit Aktivierungen im vmPFC verbunden. Eine andere aktuelle Studie bestätigte differentielle Insula-Aktivierungen bei der Darbietung eines langweiligen Films im Vergleich zur Präsentation eines interessanten Films (Danckert & Merrifield, 2016). Die affektive Erfahrung der Langeweile könnte demnach u.a. durch die Insula und durch die Amygdala moduliert werden. Dafür spricht, dass sowohl die Insula als auch die Amygdala eine wichtige Rolle bei der affektiven Verarbeitung spielen (Hayes, Duncan, Xu, & Northoff, 2014).

Die Amygdala wird bereits seit Mitte des 20. Jahrhunderts mit Emotionen assoziiert (Weiskrantz, 1956) und spielt eine wichtige Rolle bei der Furchtkonditionierung (z.B. LeDoux, 1995). Sie ist zentral an emotionaler Verarbeitung beteiligt, indem sie u.a. die Aufmerksamkeit auf saliente Stimuli lenkt, die Emotionsregulation beeinflusst und Sozialverhalten moduliert (Phelps & LeDoux, 2005). Neurone in der Amygdala reagieren auf belohnungsvorhersagende Hinweisreize (Tye, Stuber, de Ridder, Bonci, & Janak, 2008) und haben somit eine wichtige motivationale Bedeutung. Das verdeutlicht, dass die Amygdala nicht nur bei aversiven Stimuli und Ereignissen eine Rolle spielt. Erhöhte Aktivitäten in der Amygdala wurden beispielsweise in einer PET-Untersuchung bei der Präsentation negativ und positiv affektierter visueller Stimuli gefunden (Liberzon, Phan, Decker, & Taylor, 2003). In einer anderen Untersuchung assoziierten Paton, Belova, Morrison und Salzman (2006) abstrakte Bilder mit Belohnungen und Bestrafungen, um ihnen positive und negative Werte

⁶ Ego-Shooter sind eine Kategorie von Computerspielen, bei denen der Spieler in einer dreidimensionalen, frei begehbaren Spielwelt verschiedene Gegner mit Schusswaffen bekämpft.

zuzuweisen. Veränderungen in diesen Werten modulierten die neuronale Aktivität in der Amygdala von Affen. Anhand von metaanalytischen Untersuchungen konnte bestätigt werden, dass die Amygdala sowohl auf Stimuli mit negativer als auch mit positiver emotionaler Valenz reagiert (Ball, Derix, Wentlandt, Wieckhorst, Speck, Schulze-Bonhage, & Mutschler, 2009).

Bei der Insula handelt es sich um eine der Strukturen, die bei bildgebenden Studien am häufigsten aktiviert sind (Yarkoni, Poldrack, Nichols, Van Essen, & Wager, 2011), was ihre funktionelle Differenzierung erschwert (siehe auch Abschnitt 1.3.2). Die Insula wird in der Literatur konsistent mit der Antizipation von Schmerz in Verbindung gebracht (z.B. Ploghaus, Tracey, Gati, Clare, Menon, Matthews, & Rawlins, 1999) und wurde auch mit der Antizipation aversiver emotionaler visueller Stimuli assoziiert (Simmons, Matthews, Stein, & Paulus, 2004). Nach einer Metaanalyse von Chang, Yarkoni, Khaw und Sanfey (2013) ist die Insula allerdings an vielen weiteren Aufgaben beteiligt: Es konnte eine funktionelle Dreiteilung der Insula in einen dorsoanterioren, ventroanterioren und in einen posterioren Teil ermittelt werden. Die dorsoanteriore Insula ist an einer Vielzahl zielgerichteter Aufgaben beteiligt, und zwar vor allem an höheren kognitiven Aufgaben und an exekutiver Kontrolle. Die ventroanteriore Insula spielt hingegen eine größere Rolle bei Emotionen und vegetativen Funktionen und die posteriore Insula kann vor allem mit Schmerz, sensomotorischen Funktionen und Sprache assoziiert werden (Chang et al., 2013).

Aus einer weiteren Metaanalyse von Hayes et al. (2014) mit Bildgebungsstudien am Menschen zur Ermittlung, welche Strukturen für die appetitiv und aversiv emotionale Verarbeitung ausschlaggebend sind, resultierten für beide Formen überlappende Aktivierungen in der anterioren Insula und in der Amygdala. Auf Basis der Ergebnisse dieser Metaanalyse prüften die Autoren anhand einer Literaturrecherche, ob diese Strukturen auch in Tierstudien sowohl an der appetitiven als auch an der aversiven emotionalen Verarbeitung beteiligt sind. Dadurch ließ sich die Rolle der Insula und Amygdala bei der Verarbeitung appetitiver und aversiver Stimuli bestätigen (Hayes et al., 2014).

Beide Regionen sind auch an der Regulierung autonomer Effekte von Arousal beteiligt (Critchley, 2005) und es konnte gezeigt werden, dass das Arousal im Zustand der Langeweile erhöht sein kann (Eastwood et al., 2012; Fahlman et al., 2013; Merrifield & Danckert, 2014). Insgesamt lässt sich vermuten, dass sowohl die Amygdala als auch die Insula die affektive Erfahrung der Langeweile vermitteln könnten. Da Entscheidungsverhalten auch durch Aktivitäten in der Amygdala (De Martino et al., 2006; Guitart-Masip et al., 2010b; Weber et al., 2007) und in der Insula (Furl & Averbeck, 2011; Kuhnen & Knutson, 2005) moduliert wird (siehe Abschnitt 1.3), könnten diese Regionen

sowohl an der affektiven Erfahrung der Langeweile als auch an Effekten der Langeweile bei Entscheidungen beteiligt sein.

1.5.3. Empfänglichkeit für Langeweile und Streben nach Neuheit

In der bisherigen Forschung gibt es vorwiegend indirekte Befunde zu den neuronalen Grundlagen motivationaler Effekte von Langeweile. Langeweile kann auch als Persönlichkeitsmerkmal betrachtet werden, welches die „Empfänglichkeit für Langeweile“, d.h. die Tendenz sich zu langweilen darstellt (Farmer & Sundberg, 1986; Zuckerman, 1971). Die Empfänglichkeit für Langeweile wird üblicherweise anhand der Skala „Boredom Susceptibility“ (BSS; Subskala von Zuckermans Sensation-Seeking-Skala; Zuckerman, Kolin, Price, & Zoob, 1964) oder anhand der „Boredom Proneness Scale“ (BPS; Farmer & Sundberg, 1986) erhoben. In einer Evaluationsstudie von Mercer-Lynn, Flora, Fahlman und Eastwood (2013) wurde untersucht, ob diese beiden Fragebögen dasselbe Konstrukt messen. Es resultierte, dass die beiden Skalen unterschiedliche Aspekte der Langeweile erheben. Die Variablen Neurotizismus und Erlebnisvermeidung („Experiential Avoidance“, das Phänomen, bestimmte internale Erfahrungen wie Emotionen, Kognitionen oder Erinnerungen zu vermeiden; Hayes, Wilson, Gifford, Follette, & Strosahl, 1996) grenzten die beiden Skalen am besten voneinander ab. Die BSS stand mit geringeren Ausprägungen dieser beiden Variablen in Verbindung, wohingegen die BPS mit höheren Werten bei diesen Variablen assoziiert war (Mercer-Lynn et al., 2013). Weiterhin korrelierte die BSS im Gegensatz zur BPS mit erhöhter Belohnungssensitivität, verringerter Bestrafungssensitivität, erhöhtem Spielsuchtverhalten, erhöhter motorischer Impulsivität und Alkoholkonsum. Die BPS war im Gegensatz zur BSS mit verringerter Emotionalität, erhöhter nichtplanender und kognitiver Impulsivität sowie mit Depression, Dysphorie und Ängstlichkeit korreliert (Mercer-Lynn et al., 2013). Abgesehen von der BSS und BPS existieren noch mehrere kontextspezifische Skalen zur Erfassung der Langeweileempfänglichkeit, wie z.B. die „Leisure Boredom Scale“ (Iso-Ahola & Weissinger, 1990) für den Freizeitkontext oder die „Boredom Coping Scale“ (Hamilton, Haier, & Buchsbaum, 1984), um das Ausmaß dessen zu ermitteln, wie schwer es Personen fällt, langweilige Aktivitäten zu bewältigen.

Individuelle Differenzen im Persönlichkeitsmerkmal der Empfänglichkeit für Langeweile stehen in Verbindung mit der Dimension „Streben nach Neuheit“ aus Cloningers dreidimensionalem Persönlichkeitsfragenbogen (engl. Tridimensional Personality Questionnaire; TPQ; Cloninger, 1987; Cloninger, Przybeck, & Svrakic, 1991). Unter dem Konstrukt Streben nach Neuheit wird die Tendenz von Menschen und anderen Lebewesen verstanden, neue und unbekannte Stimuli und Situationen zu erkunden (Cloninger, 1986; Hughes, 2007; Wilson & Goldman-Rakic, 1994). Differenzen in den Persönlichkeitseigenschaften Empfänglichkeit für Langeweile und Streben nach Neuheit sind

mit Veränderungen in der striatalen Aktivität, der Dopaminfreisetzung und der Dopaminrezeptordichte assoziiert (für einen Überblick siehe Jupp & Dalley, 2014). Es gibt zahlreiche Befunde, die belegen, dass Streben nach Neuheit mit Veränderungen im dopaminergen System und motivationalem Verhalten verbunden ist (siehe z.B. Bódi, Kéri, Nagy, Moustafa, Myers, Daw, Dibó, Takáts, Berezki, & Gluck, 2009; Ebstein, Novick, Umansky, Priel, Osher, Blaine, Bennett, Nemanov, Katz, & Belmaker, 1996; Gjedde, Kumakura, Cumming, Linnet, & Møller, 2010; Golimbet, Alfimova, Gritsenko, & Ebstein, 2007; Krebs, Schott, & Düzel, 2009; Roussos, Giakoumaki, & Bitsios, 2009; Schinka, Letsch, & Crawford, 2002; Zald, Cowan, Riccardi, Baldwin, Ansari, Li, Shelby, Smith, McHugo, & Kessler, 2008). Bei Ratten wurden bereits in einer Untersuchung von Hooks, Jones, Smith, Neill und Justice (1991) Hinweise darauf gefunden, dass ein starkes Neuheitsstreben mit Veränderungen im dopaminergen System assoziiert ist. Anhand des Mikrodialyseverfahrens wurden bei Ratten, deren lokomotorisches Verhalten in neuen Umgebungen stark ausgeprägt ist, erhöhte extrazelluläre Konzentrationen von Dopamin im NAc entdeckt (Hooks et al., 1991). Das Persönlichkeitsmerkmal Streben nach Neuheit scheint mit neuheitsbedingten Aktivierungen in der SN/VTA und dem Striatum einherzugehen. Beispielsweise korrelierte dieses Merkmal mit Aktivierungen in der SN/VTA, die durch neue nicht-belohnungsvorhersagende Stimuli hervorgerufen wurden (Krebs et al., 2009). Individuelle Werte im Merkmal Streben nach Neuheit korrelierten weiterhin mit dem Ausmaß des Neuheitsbonus im linken ventralen Striatum (Wittmann et al., 2008). Stark Neuheitsstrebende waren im Vergleich zu gering Neuheitsstrebenden sensibler für Verstärkungseffekte durch d-Amphetamin (Stoops, Lile, Robbins, Martin, Rush, & Kelly, 2007). Demnach weisen stark Neuheitsstrebende eine erhöhte Belohnungsreaktivität auf. Mittels Positronen-Emissions-Tomographie wurde gezeigt, dass eine erhöhte Ausprägung beim Merkmal Streben nach Neuheit durch verringerte Level von D2-ähnlicher Autorezeptorverfügbarkeit in der SN/VTA charakterisiert ist (Zald et al., 2008). Eine verringerte Verfügbarkeit dieser Autorezeptoren könnte zu einer erhöhten dopaminergen Aktivität im Kontext von Neuheit führen. Hutchison, Wood und Swift (1999) verabreichten ihren Probanden in einer Untersuchung d-Amphetamin und spielten ihnen unter dem Einfluss dieser Substanz eine Reihe von lauten und abrupt auftretenden Geräuschen vor. Daraufhin ließen sie sie u.a. den Grad der Stimulation durch die Geräusche subjektiv einschätzen. Zur Empfänglichkeit für Langeweile konnte im Speziellen gefunden werden, dass dieses Merkmal den Einfluss des indirekten Dopamin-Agonisten d-Amphetamin modulierte. Personen mit einem hohen Ausprägungsgrad bei diesem Merkmal berichteten von einer stärkeren Stimulation nach der Verabreichung des Dopamin-Agonisten (Hutchison et al., 1999). Aufgrund dessen ergibt sich die Annahme, dass das dopaminerge System für motivationale Effekte von Langeweile relevant sein könnte. Aufgrund der Zusammenhänge

zwischen dopaminergem Aktivität und dem Merkmal Streben nach Neuheit kann weiterhin vermutet werden, dass potentielle Neuheitseffekte auf intertemporale Entscheidungen (siehe Abschnitt 1.5.1) bei Personen mit einem hohen Ausprägungsgrad bei der Persönlichkeitseigenschaft Streben nach Neuheit stärker ausgeprägt sein sollten.

2. Fragestellungen, experimentelles Vorgehen und Hypothesen

2.1. Studie 1 – Langeweileantizipation bei Kaufentscheidungen

Der Erwartungswert stellt das Fundament von ökonomischem Entscheidungsverhalten dar (siehe Abschnitt 1.1) und das dopaminerge Belohnungssystem spielt eine maßgebliche Rolle bei der Repräsentation von Entscheidungswerten (siehe Abschnitt 1.2). In Studie 1 soll untersucht werden, ob Entscheidungen über die Antizipation von Langeweile - als Entscheidungsoption mit einem negativen Erwartungswert - durch Strukturen des dopaminergen Systems vermittelt werden. Es wurden Kaufentscheidungen mit der Antizipation des zukünftigen aversiven motivationalen Zustands der Langeweile untersucht.

Menschen streben es an, erwartete Langeweile zu vermeiden, und Langeweile kann Kaufentscheidungen beeinflussen (siehe Abschnitt 1.5.2). Langeweileempfindlichkeit korreliert mit Streben nach Neuheit (siehe Abschnitt 1.5.3) und sowohl diese Merkmale als auch Neuheit selbst sind mit Veränderungen im dopaminergen System assoziiert, insbesondere in der SN/VTA, und mit Veränderungen im motivationalen Verhalten (siehe Abschnitt 1.5). Der Nucleus caudatus spielt eine wichtige Rolle bei zielgerichtetem Entscheidungsverhalten, u.a. aufgrund der Antizipation von Ereignissen (siehe Abschnitt 1.3) und die Insula sowie die Amygdala sind sowohl bei der Langeweileerfahrung (siehe Abschnitt 1.5.2) als auch bei Entscheidungsverhalten involviert (siehe Abschnitt 1.3).

Die allgemeine Fragestellung der ersten Studie lautet:

Wie werden Kaufentscheidungen über die Antizipation des zukünftigen affektiv-motivationalen Zustands der Langeweile getroffen und werden langeweilebezogene Kaufentscheidungen durch Strukturen des dopaminergen Systems moduliert?

In Studie 1 wurde die Langeweileantizipation bei Entscheidungen zum Kauf von Musikstücken mittels fMRT untersucht. Die Probanden erlebten zunächst eine langweilige Aufgabe und zwei Kontrollaufgaben. Dann sollten sie eine Reihe von Entscheidungen zwischen dem Kauf individuell ausgewählter Musikstücke und jeder der Aufgaben treffen. In jedem Durchgang der Entscheidungsaufgabe wählten sie entweder zwischen zweien von den Aufgaben, welche kostenfrei waren, oder zwischen einer der Aufgaben und dem Kauf eines Musikstücks mit moderatem individuellen Wert. Die Preise wurden für jeden Probanden und jede Bedingung auf Basis des Prozentsatzes von gewählten Musikstücken adaptiert. Am Ende des Experiments wurden ein paar der zuvor getroffenen Entscheidungen per Zufall ausgewählt und daraufhin implementiert.

Es wurde angenommen, dass die Probanden die langweilige Aufgabe vermeiden und somit akzeptieren würden, höhere Preise für Musik zu bezahlen, wenn die alternative Option eine

langweilige Aufgabe war, im Vergleich dazu, wenn es sich bei der alternativen Option um eine Kontrollaufgabe handelte. Basierend auf früheren Studien wurde erwartet, dass die SN/VTA und der Nucleus caudatus mit Entscheidungen, Langeweile zu vermeiden, assoziiert sind (Balleine & O'Doherty, 2009; Wittmann et al., 2008) und dass die Insula und die Amygdala die Erfahrung und Antizipation der Langeweile widerspiegeln (Mathiak et al., 2013).

2.2. Studie 2 – Einflüsse kontextueller Neuheit auf intertemporale Entscheidungen

Entscheidungsverhalten kann bezogen auf die traditionelle Erwartungsnutzentheorie irrational sein, da deren Axiome in vielen Situationen gebrochen werden. Im zeitlichen Verlauf, ausgehend von bekannten Entscheidungsparadoxa, weiterhin bei der neuen Erwartungstheorie, bis hin zu Weiterentwicklungen dieser Theorie, ist ersichtlich, dass Entscheidungsverhalten von verschiedenen Faktoren beeinflusst werden kann (siehe Abschnitt 1.1). In Studie 2 wurde der kontextuelle Einfluss von Neuheit auf intertemporale Entscheidungen anhand von Verhaltensstudien untersucht.

Kontextuelle Neuheit scheint die tonische Aktivität dopaminerger Neurone über die Hippocampus-VTA-Schleife zu erhöhen, wodurch mehr Neurone direkt oder indirekt durch die Neuheit in einen phasischen Feuerzustand versetzt werden können. Dieser phasische Anstieg könnte kurzfristig eine erhöhte Belohnungsreaktivität bewirken, welche Auswirkungen auf intertemporale Entscheidungen haben könnte (siehe Abschnitt 1.5.1). Eine Erhöhung dopaminerger Aktivität ist mit verstärkten Diskontierungen assoziiert (siehe Abschnitt 1.4). Erhöhte Ausprägungen beim Merkmal Streben nach Neuheit gehen mit erhöhter dopaminerger Aktivität einher (siehe Abschnitt 1.5.3). Neuheit kann möglicherweise durch eine Aktivierung des noradrenergen Systems zu einer kurzlebigen Reaktionserleichterung führen (siehe Abschnitt 1.5.1).

Die allgemeine Fragestellung der zweiten Studie lautet:

Welchen Einfluss hat kontextuelle Neuheit auf intertemporale Entscheidungen?

Zur Untersuchung des Einflusses kontextueller Neuheit auf intertemporale Entscheidungen wurden zwei Verhaltensexperimente durchgeführt. In beiden Experimenten sollten die Probanden intertemporale Entscheidungen zwischen einem kleineren, früher verfügbaren und einem größeren, später verfügbaren Geldbetrag treffen. Am Ende jedes Experiments wurden zwei der zuvor getroffenen Entscheidungen per Zufall ausgewählt und daraufhin ausgezahlt.

Im ersten Experiment wurde anhand eines auf früheren Studien basierenden Designs (Bunzeck et al., 2011; Guitart-Masip et al., 2010a) in jedem Durchgang kurz vor jeder

intertemporalen Entscheidung entweder ein vertrauter oder ein neuer Stimulus dargeboten. Es wurde angenommen, dass sich die Probanden in der Neuheitsbedingung im Vergleich zur Vertrautheitsbedingung häufiger für den kleineren, früher verfügbaren Betrag entscheiden und dass sie kürzere Reaktionszeiten in der Neuheitsbedingung im Vergleich zur Vertrautheitsbedingung aufweisen würden. Weiterhin wurde angenommen, dass dieser Einfluss von Neuheit auf Entscheidungen für den kleineren, früher verfügbaren Betrag durch das Persönlichkeitsmerkmal Streben nach Neuheit vorhergesagt werden kann und dass sich insbesondere stark Neuheitsstrebende in der Neuheitsbedingung im Vergleich zur Vertrautheitsbedingung schneller für den früheren Betrag entscheiden würden.

Im zweiten Experiment wurde ebenso in jedem Durchgang entweder ein vertrauter oder ein neuer Stimulus dargeboten, jedoch im Unterschied zum ersten Experiment im Hintergrund, gleichzeitig mit jeder intertemporalen Entscheidung. Dadurch wurde das Paradigma aus dem ersten Experiment modifiziert, indem durch die gleichzeitige Darbietung von Neuheit und Aufgabe eine aufmerksamkeitsmodulierende Ablenkungssituation geschaffen wurde. Anhand dieses Vorgehens sollte untersucht werden, ob in einer solchen Distraktorensituation, in der die Neuheit im Gegensatz zum ersten Experiment nicht mehr als der Aufgabe vorausgehender Prime präsentiert wurde, die für das erste Experiment angenommenen Neuheitseffekte bestehen blieben. Ablenkungssituationen können Neuheitseffekte unterbinden. Beispielsweise konnte demonstriert werden, dass vor Gedächtnisaufgaben dargebotene Neuheit sowie eine vorausgehende Neuheitsantizipation gedächtnisfördernd sind (Fenker, Frey, Schuetze, Heipertz, Heinze, & Duzel, 2008; Schomaker, van Bronkhorst, & Meeter, 2014; Wittmann et al., 2007). In einem jenem des zweiten Experiments ähnlichen Design bewirkten hingegen neue aufgabenirrelevante Hintergrundbilder ablenkungsbedingt keine Verbesserungen der Gedächtnisleistung (Rangel-Gomez, Janenaite, & Meeter, 2015). Für das zweite Experiment wurden dieselben Hypothesen wie für das erste Experiment aufgestellt, jedoch wurde ebenso die Möglichkeit in Betracht gezogen, dass das geschaffene Ablenkungsszenario die erwarteten Neuheitseffekte abschwächt oder unterbindet.

3. Studie 1 – Langeweileantizipation bei Kaufentscheidungen

3.1. Methoden

3.1.1. Stichprobe

In der vorliegenden Studie wurden insgesamt 41 gesunde, rechtshändige Probanden untersucht. Sechs Probanden wurden von der Analyse ausgeschlossen, da sie die Einschlusskriterien der Untersuchung nicht erfüllten (siehe Abschnitt 3.1.2.3). Für die Analyse der Verhaltensdaten blieben somit 35 Probanden (mittleres Alter \pm Standardabweichung (engl. standard deviation; SD): 25.2 \pm 2.4 Jahre, 19 Frauen) in der Stichprobe. Aufgrund übermäßiger Kopfbewegungen (von Volumen zu Volumen: Translation > 1 mm; Rotation > 0.5°) wurden fünf Probanden von der fMRT-Analyse ausgeschlossen. Demnach blieben 30 Probanden in der Stichprobe für die fMRT-Analyse (mittleres Alter \pm SD: 25.1 \pm 2.5 Jahre, 18 Frauen). Um die Wahrscheinlichkeit zu erhöhen, dass die Probanden im Scanner den Zustand der Langeweile erfahren, wurden nur Probanden in die Untersuchung einbezogen, die bereits an mindestens einer vorangegangenen fMRT-Studie teilgenommen haben und somit das Scannerumfeld bereits gewohnt waren. Alle Probanden gaben an, keine neurologischen und/oder psychiatrischen (Vor)erkrankungen zu haben und keine ZNS-wirksamen Medikamente einzunehmen. Die Sehkraft der Probanden lag im Normalbereich oder war entsprechend korrigiert (Brille/Kontaktlinsen). Vor Beginn der Untersuchung wurde den Probanden eine schriftliche Einwilligungserklärung zur Teilnahme vorgelegt, mit der Möglichkeit des jederzeitigen und folgenlosen Rücktritts von der Untersuchung. Die Probanden wurden vor der Untersuchung über die Dauer und die mögliche Vergütung aufgeklärt. Als finanzielle Aufwandsentschädigung für die Teilnahme an der Untersuchung erhielten sie 10€ pro Stunde. Die Teilnahme an der Studie war freiwillig. Die Pseudonymisierung der Daten wurde durch die Angabe von Versuchspersonen-Codes gewährleistet. So konnten die Namen der Probanden nicht mit den dazugehörigen Fragebögen und Testergebnissen in Verbindung gebracht werden. Die Datenerhebung fand im Bender Institute of Neuroimaging (BION) der Justus-Liebig-Universität Gießen statt und alle Daten wurden von demselben Versuchsleiter erhoben. Die lokale Ethikkommission der Abteilung für Psychologie und Sportwissenschaften der Justus-Liebig-Universität Gießen hat die vorliegende Untersuchung für ethisch unbedenklich erklärt. Die Probanden wurden durch Aushänge auf die Untersuchung aufmerksam gemacht. Über diese Aushänge wurde ihnen die Möglichkeit gegeben, sich per E-Mail an den Versuchsleiter zu wenden. Außerdem wurden sie über den Rundmailservice der Justus-Liebig-Universität Gießen rekrutiert. Rundmails wurden an alle Studierende der Universität versendet. Für die Untersuchung wurden Personen im Alter zwischen 20 und 35 Jahren zugelassen. Als Testzeitpunkte

wurden Termine von montags bis sonntags zwischen 10.00 Uhr und 18.00 Uhr angeboten, je nach Verfügbarkeit des Scanners.

3.1.2. Versuchsablauf

Das Experiment erstreckte sich über drei Tage. Am ersten Tag sollten die Probanden Persönlichkeitsfragebögen und einen Musikfragebogen ausfüllen. Der Musikfragebogen diente dazu, Musikstücke mit moderatem subjektivem Wert für die Entscheidungsaufgabe individuell auszuwählen. Am zweiten Tag wurden die Probanden zur Vermeidung von Neuheitseffekten mit den Fotos familiarisiert, die in der Langweileaufgabe und in Kontrollaufgaben verwendet werden sollten. Die Fragebögen und Aufgaben am ersten und zweiten Tag wurden über das Online-Umfragesystem „soSci ofb – der onlineFragebogen“ (Leiner, 2014) zugänglich gemacht. Die Probanden sollten diese Materialien von zuhause aus an ihrem Computer bearbeiten. Sie wurden zu einer aufmerksamen und gewissenhaften Teilnahme aufgefordert und sollten sich nicht durch Gespräche, Musik, Smartphones, E-Mails oder sonstige Einflüsse ablenken lassen. Am dritten Tag fand das fMRT-Experiment statt, welches sich aus der Langweilemanipulation und der Entscheidungsaufgabe zusammensetzte.

3.1.2.1. Tag 1

Über das Online-Umfragesystem bearbeiteten die Probanden zunächst einen hierarchisch strukturierten Musikfragebogen zur Erhebung ihrer Interessen an bestimmten Musikgenres und Musikstücken. Als Musikrichtungen standen Kunst- und Unterhaltungsmusik zur Auswahl (Genres der Kunstmusik: Klassische Musik, Jazz; Genres der Unterhaltungsmusik: Country, Elektro, Eurodance, Folk, Funk, Hip Hop und Rap, House, Metal, Pop, Punk, Reggae, Rhythm and Blues und Rock). Für den Fragebogen wurde eine siebenstufige Likertskala (von 1 = völlig uninteressant bis 7 = sehr interessant) mit einer zusätzlichen Wahloption für unbekannte Items verwendet. Zuerst sollten die Probanden auswählen, wie sehr sie an Musik im Allgemeinen interessiert sind. Wenn sie Musik als ausreichend interessant bewertet hatten (Rating ≥ 3), wurden als Nächstes die Musikgenres aufgelistet. Zu jedem Genre, das auf der Skala mit ≥ 3 bewertet wurde, wurden daraufhin individuelle Musiker aufgeführt. Dann sollten zu jedem Musiker, der ≥ 3 bewertet wurde, fünf individuelle Musikstücke bewertet werden. Der Musikfragebogen beinhaltete insgesamt 1804 Musikstücke. Sobald 36 Musikstücke ein Rating von 5 (eher interessant) erhalten hatten, wurde der Musikfragebogen automatisch beendet. Es wurden nur Musikstücke mit demselben subjektiven Wert verwendet.

Nach dem Musikfragebogen bearbeiteten die Probanden drei Persönlichkeitsfragebögen, welche individuelle Differenzen hinsichtlich der Persönlichkeitseigenschaft Empfänglichkeit für Langeweile erfassten. Dabei handelte es sich um die Subskala BSS der Sensation-

Seeking-Skala (Zuckerman et al., 1964) und um die BPS (Farmer & Sundberg, 1986). Diese Fragebögen wurden verwendet, da sie unterschiedliche Aspekte der Empfänglichkeit für Langeweile messen (Mercer-Lynn et al., 2013). Weiterhin wurde der TPQ erhoben (Cloninger et al., 1991; Richter, Eisemann, & Richter, 2000).

3.1.2.2. Tag 2

Zwei bis 14 Tage später und ca. 24 Stunden (± 3 Stunden) vor der fMRT-Messung wurden die Probanden mit 143 graustufigen Landschaftsfotos familiarisiert. Die Fotos wurden in Bezug auf Auflösung (500 x 300), Helligkeit und Kontrast aneinander angeglichen. Die Stimuli wurden einmalig und in randomisierter Reihenfolge präsentiert (Dauer: 2000 ms). Nach jedem Foto folgte ein Fixationskreuz, woraufhin sich das nächste Foto anschloss (Interstimulus-Intervall [ISI]: 2000 ms). Während der Darbietung jedes Fotos sollten die Probanden per Tastendruck angeben, ob es menschengemachte Elemente (z.B. Gebäude oder Straßen) beinhaltete oder ob es sich um natürliche, unberührte Landschaften handelte.

3.1.2.3. Tag 3

Das fMRT-Experiment setzte sich aus zwei Teilen zusammen. Im ersten Teil sollten die Probanden eine Langeweile induzierende Aufgabe und zwei Kontrollaufgaben bearbeiten. Um zeitlich ausgedehnte Stimmungseffekte zu induzieren, wurde jede Aufgabe durchgängig für eine Dauer von 5 Minuten präsentiert. Die Reihenfolge der Aufgaben sowie die Reaktionstasten wurden für jede Aufgabe über alle Probanden hinweg ausbalanciert. In allen drei Aufgaben wurden die zuvor familiarisierten Landschaftsbilder verwendet, welche von einem ockerfarbenen Rahmen umrandet waren. In der Hälfte der Durchgänge war dieser Rahmen jeweils verwischt (siehe unten).

In der Langeweileaufgabe (Abbildung 4A) wurde jedem Probanden dasselbe Landschaftsbild in jedem Durchgang präsentiert. Über alle Probanden hinweg wurden sechs Landschaftsbilder verwendet, um stimulusbedingte Effekte zu verringern. In jedem Durchgang sollten die Probanden per Tastendruck angeben, ob der ockerfarbene Rahmen verwischt war oder nicht. Die Langeweileaufgabe bestand aus 86 Durchgängen (2000 ms Stimuluspräsentation, 1500 ms Fixationskreuz als Intervall zwischen den Durchgängen (engl. intertrial interval; ITI). In den Probandeninstruktionen wurde diese Aufgabe wertneutral als „Verwischungsaufgabe“ bezeichnet. In den beiden Kontrollaufgaben wurde in jedem Durchgang ein anderes Foto dargeboten. In der ersten Kontrollaufgabe („Bewertungsaufgabe“, Abbildung 4B) sollten die Probanden per Tastendruck angeben, ob ihnen das jeweilige Foto gefiel oder nicht. Die Anzahl der Durchgänge sowie die Präsentationsdauer waren mit denen der Langeweileaufgabe identisch. In der zweiten Kontrollaufgabe („Suchaufgabe“, Abbildung 4C) wurde an einer zufälligen Position innerhalb jedes Landschaftsfotos ein kleines Bild entweder von einem Schlüssel oder von einem

Schloss eingeblendet. In jedem Durchgang sollten die Probanden per Tastendruck angeben, welches der beiden Objekte eingeblendet wurde. Nach Ablauf des Reaktionszeitlimits von 4500 ms erschien ein roter Kreis um das eingeblendete Objekt (Schlüssel/Schloss) herum, um die Position des Objektes hervorzuheben. Die Suchaufgabe beinhaltete 34 Durchgänge (4500 ms Stimuluspräsentation, 1000 ms Feedback, 2500 ms Fixationskreuz als ITI). Die Zeiten der einzelnen Aufgaben wurden auf Basis der Ergebnisse von Voruntersuchungen derart gewählt, dass sie bei jeder Aufgabe ein hohes Leistungsniveau ermöglichen sollten. Dadurch sollten mögliche Störfaktoren wie Flow-Erfahrungen aufgrund zufriedenstellender Aufgabenanforderungen oder Überlastungen durch zu anspruchsvolle Aufgaben vermieden werden (Ulrich, Keller, Hoenig, Waller, & Grön, 2014).

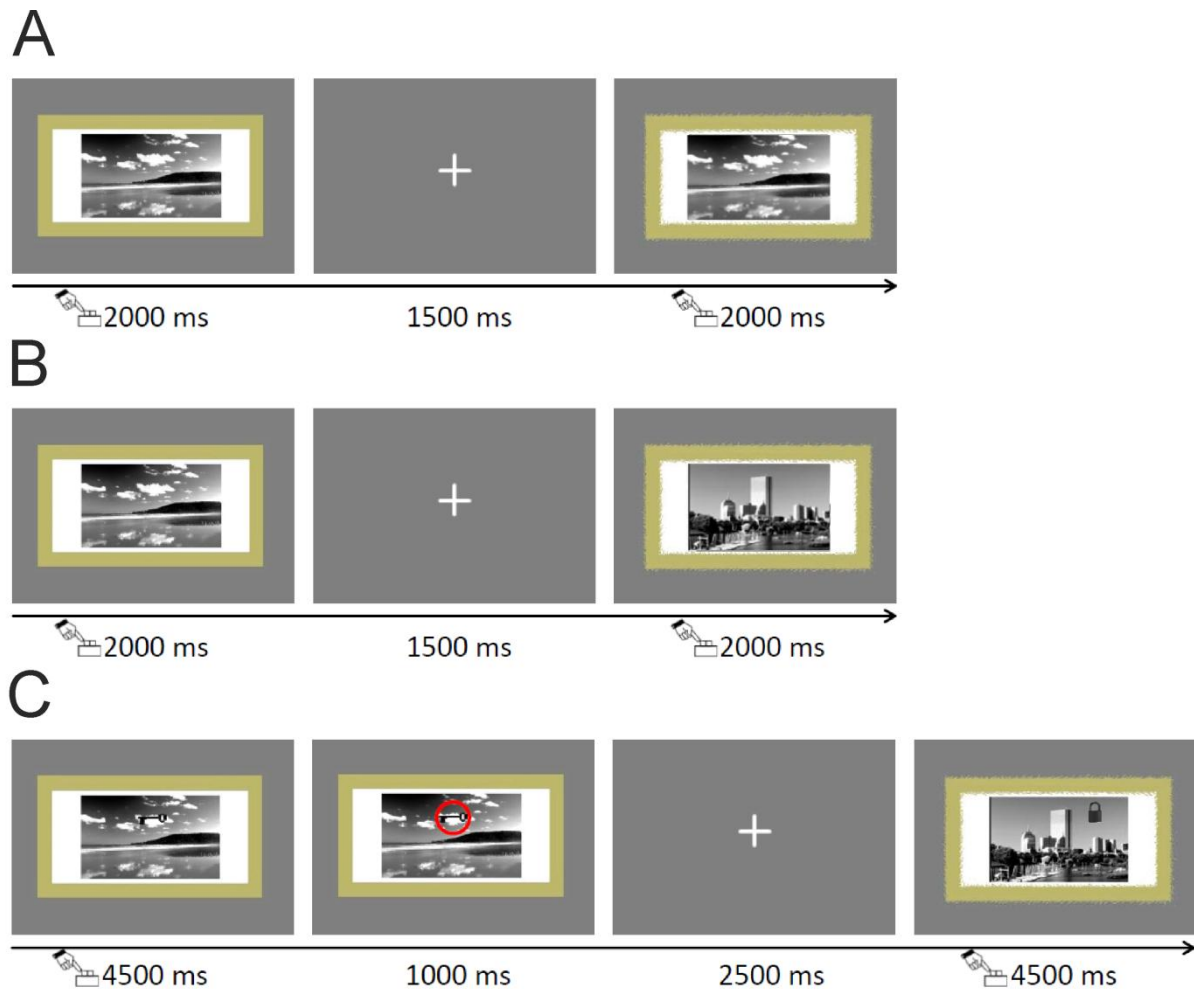


Abbildung 4. Experimentelles Design. (A-C) Die Probanden durchliefen zuerst die drei Aufgaben, die später als Entscheidungsoptionen genutzt wurden. (A) Durchgangsabfolge der Langweileaufgabe. Ein Landschaftsbild wurde wiederholt präsentiert (ITI: 1500 ms) und die Probanden sollten dabei angeben, ob der ockerfarbene Rahmen, der das Bild umrandet, verwischt war oder nicht. Diese Aufgabe wurde in den Probandeninstruktionen, neutral formuliert, als „Verwischungsaufgabe“ bezeichnet. (B) Durchgangsabfolge der Bewertungsaufgabe. Den Probanden wurden verschiedene vertraute Landschaftsbilder dargeboten (ITI: 1500 ms). Sie sollten angeben, ob ihnen das entsprechende Bild gefiel oder nicht. (C) Durchgangsabfolge der Suchaufgabe. Den Probanden wurden verschiedene vertraute Landschaftsbilder präsentiert und sie sollten bei jedem Bild angeben, ob ein Schlüssel oder ein Schloss im Bild eingeblendet war. Um den Schlüssel bzw. das Schloss im Bild zu finden, war eine visuelle Suche erforderlich. Nach dem Reaktionszeitlimit hob ein roter Kreis die Position des Schlüssels/Schlusses hervor und es folgte ein ITI von 2500 ms.

Am Ende jeder Aufgabe sollten die Probanden zunächst bewerten, wie gelangweilt sie sich während der Bearbeitung der jeweiligen Aufgabe gefühlt hatten (Langweilerating; Skala von 0-10, von 0 = „überhaupt nicht gelangweilt“ bis 10 = „extrem gelangweilt“). Danach sollten sie angeben, wie interessant sie die jeweilige Aufgabe gefunden hatten (Interessenrating; Skala von 1-7, identisch mit jener aus dem Musikfragbogen von Tag 1).

Probanden, bei denen die Langweilemanipulation nicht erfolgreich war (Langweilerating < 5 in der Langweileaufgabe) wurden von der Untersuchung ausgeschlossen, indem die fMRT-Sitzung an diesem Punkt beendet wurde (vier Probanden). Zudem wurde die Differenz der Langweileratings zwischen der Langweileaufgabe und jeder der beiden Kontrollaufgaben berechnet. Sofern die Differenz für beide Aufgaben < 3 betrug, wurden die entsprechenden Probanden ebenso von der Untersuchung ausgeschlossen (zwei Probanden).

Im zweiten Teil des fMRT-Experiments sollten die Probanden die Entscheidungsaufgabe ausführen (Abbildung 5). Dazu erhielten sie ein Startkapital in Höhe von 6€. In jedem Durchgang sollte eine Entscheidung zwischen zwei Optionen getroffen werden. Mögliche Optionen waren eine der beiden Aufgaben aus dem ersten Teil des Experiments (Langweile, Bewertung oder Suche) oder ein Musikstück, das an Tag 1 als moderat interessant bewertet worden war. Die Probanden wurden darüber informiert, dass sieben Entscheidungsdurchgänge am Ende der Entscheidungsphase in einer Auslosung per Zufall ausgewählt und daraufhin umgesetzt werden sollten. Die Entscheidungen bestanden darin, entweder eine der drei Aufgaben für eine Dauer von 5 Minuten auszuführen oder sich ein Musikstück anzuhören (Durchschnittliche Dauer \pm Standardfehler des Mittelwerts (engl. standard error of the mean; SEM): 4.7 ± 0.2 min). Die Optionen wurden in Textform präsentiert. Es wurden jeweils der Preis der Option und der Name der Aufgabe bzw. der Musiker und der Titel des Musikstücks präsentiert. Ein Optionspaar bestand entweder aus zwei Aufgaben (Aufgabendurchgänge) oder aus einer Aufgabe und einem Musikstück (Musikdurchgänge). Pro Durchgang wurden die Optionen erst sequentiell dargeboten (jeweils 4000 ms). Es folgte ein Wahlbildschirm, bei dem beide Optionen nebeneinander für 2000 ms angezeigt wurden. Danach wurde ein Fixationskreuz als gejittertes⁷ ITI dargeboten (1600-5400 ms). Der Jitter wurde mit der Repetitionszeit (engl. repetition time; TR)⁸

⁷ Das „Jittern“ bezeichnet die zeitliche Variation des ISI und/oder ITI. Bei der fMRT können die Regressoren darüber dekorreliert werden und es wird erreicht, dass die BOLD-Antwort eines Probanden an mehr (verschiedenen) Punkten abgetastet wird, sodass die Form der hämodynamischen Antwort (engl. hemodynamic response function; HRF) besser geschätzt werden kann. Im Endeffekt werden durch Jitter effizientere Experimentaldesigns erreicht (Dale, 1999).

⁸ Zeit zwischen zwei Anregungspulsen im MRT

gekoppelt, um die vom Blutsauerstoffgehalt abhängige Antwort (engl. blood oxygenation level dependent response; BOLD-Antwort) der Probanden besser abzutasten und somit die Designeffizienz zu steigern (Dale, 1999). Während der Darbietung des Wahlbildschirms trafen die Probanden ihre Wahl per Tastendruck (links/rechts). Durchgangstypen, die Reihenfolge der Optionen und die Seite, auf der die Optionen beim Wahlbildschirm dargeboten wurden (links/rechts), waren ausbalanciert.

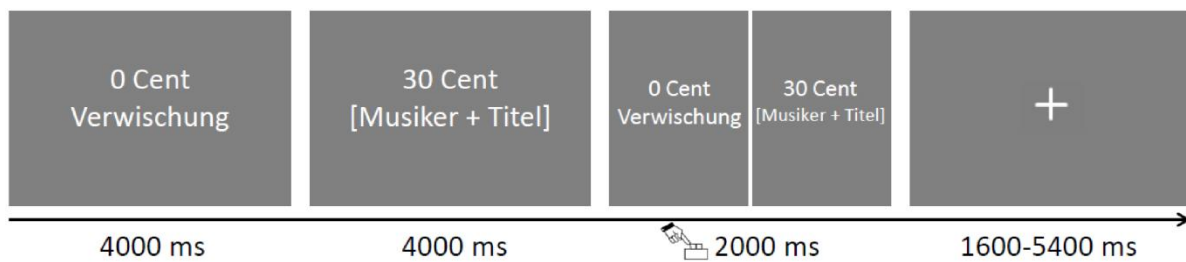


Abbildung 5. Durchgangsabfolge des Entscheidungsparadigmas. Zwei Optionen und der jeweils mit ihnen assoziierte Preis (in Eurocents) wurden zunächst sequentiell präsentiert. Danach folgte ein Wahlbildschirm, bei dem beide Optionen randomisiert mal auf der einen, mal auf der anderen Seite des Bildschirms zu sehen waren (ausbalanciert pro Bedingung). Während der Präsentation des Wahlbildschirms sollten die Probanden angeben, welche Option sie am Ende des Experiments für eine Dauer von fünf Minuten erleben wollten, indem sie die linke oder rechte Seite des Bildschirms wählten.

Für die Entscheidungsaufgabe wurden Musikstücke mit einem moderaten subjektiven Wert individuell ausgewählt (siehe Abschnitt 3.1.2.1), um Rückschlüsse über Entscheidungen für und gegen antizipierte Langeweile zu ermöglichen. Als sehr interessant bewertete Musikstücke hätten zur extremen Bevorzugung der Musik geführt und somit ungeeignete Alternativoptionen zu den Aufgaben dargestellt. Während die Aufgaben nichts kosteten, hatten die Musikstücke einen Preis. Der Preis wurde für jede Bedingung (Langeweile, Bewertung und Suche) anhand eines adaptiven Algorithmus festgesetzt, um eine für die fMRT-Analyse ausreichende Anzahl an Entscheidungen für jede Option sicherzustellen. Voruntersuchungen hatten ergeben, dass fixe Preise, die im Laufe des Experiments identisch bleiben, meistens zu extremen Entscheidungen führen. Je nach Höhe und subjektivem Wert des Preises entscheiden sich die meisten Probanden entweder in den meisten Fällen für oder gegen die Musik/Aufgaben. Für das adaptive Verfahren wurde der Startpreis auf ca. die Hälfte des Marktpreises bei Online-Anbietern (ca. 1€ pro Musikstück) festgelegt. Pro Bedingung wurde er per Zufall auf 0.45€, 0.50€ oder 0.55€ gesetzt. Alle folgenden Preise hingen jeweils für jede Bedingung von den vorherigen Entscheidungen ab: Wenn mehr als 60% aller vorherigen Entscheidungen für die Musik waren, wurde der Preis um 0.10€ erhöht. Wenn weniger als 40% aller vorherigen Entscheidungen für die Musik waren, wurde der Preis um 0.10€ verringert. Der Minimalpreis wurde auf 0.05€ festgelegt,

außer wenn weniger als 30% aller vorherigen Entscheidungen für Musik waren. In diesem Fall wurde der Preis auf 0€ gesetzt.

Um sicherzustellen, dass die Probanden die Adaptabilität der Preise nicht bemerken, wurde ein stochastisches Element in die Prozedur integriert: Ausgehend vom fünften Durchgang jedes Musikdurchgangstypen wurde bei jedem dritten Durchgang entweder 0.05€ oder 0.10€ hinzugefügt oder 0.10€ vom aktuellen Musikpreis abgezogen. Durch diese Methode der adaptiven Preisgestaltung wurde für jeden Probanden pro Bedingung (Langeweile, Suche und Bewertung) ein individuelles Maß an Bereitschaft, für Musik zu bezahlen, geschaffen. Anders formuliert, war dies ein Maß dafür, wie viel die Probanden bereit waren, zu zahlen, um jede der drei Aufgaben (Langeweile, Suche und Bewertung) zu vermeiden. Aus der adaptiven Preisgestaltung ergab sich also ein Maß für die binären Entscheidungen. Da stets dieselben Musikstücke pro Bedingung verwendet wurden und da jedes Musikstück dasselbe Interessenrating beim Onlinefragebogen erhalten hatte, war der Anfangswert der Musikooptionen in jeder Bedingung gleich, sodass Unterschiede im Preis den Einfluss der alternativen Option (Bedingung) widerspiegelten. Andere Methoden, wie eine BDM-Auktion (Becker et al., 1964), hätten dieses Maß nicht geliefert: Eine vor dem Experiment durchgeführte BDM-Auktion hätte den Anfangswert der Musik in jeder Bedingung angeglichen, jedoch keine für die fMRT-Analyse ausreichende Anzahl an Entscheidungen für jede Option in jeder Bedingung sichergestellt. Eine BDM-Auktion während der Entscheidungsphase hätte ein Maß für die Zahlungsbereitschaft in jedem Durchgang geliefert, jedoch hätten die Probanden in diesem Fall keine binären Entscheidungen getroffen, sodass eine entscheidungsbasierte fMRT-Analyse nicht möglich gewesen wäre. In diesem Fall hätten sich die fMRT-Ergebnisse stattdessen auf subjektive Werte bezogen, von denen bekannt ist, dass sie in denselben Gehirnarealen für verschiedene Güter und Bedingungen repräsentiert werden (Chib, Rangel, Shimojo, & O'Doherty, 2009; FitzGerald, Seymour, & Dolan, 2009; Levy & Glimcher, 2011; Plassmann et al., 2007).

Jedes der 36 Musikstücke wurde dreimal als Option präsentiert (einmal pro Bedingung). Um die Schätzbarkeit des fMRT-Designs zu verbessern und um ein Verhaltensmaß für die Aufgabenpräferenzen der Probanden zu erhalten, kamen 12 zusätzliche Durchgänge für jede Kombination von zwei Aufgaben bei der Entscheidungsphase vor (Langeweile-Suche, Langeweile-Bewertung, Suche-Bewertung). Insgesamt ergaben sich 144 Durchgänge, aufgeteilt in drei Durchläufe mit einer Dauer von ca. 11 Minuten. Zwischen den Durchläufen hatten die Probanden die Gelegenheit, im Scanner eine kurze Pause zu machen. Am Ende der Entscheidungsphase sollten die Probanden zusätzliche Ratings für die drei Aufgaben auf einer Skala von 0 bis 10 abgeben. Dabei sollten sie pro Aufgabe angeben, wie anstrengend (von 0 = „überhaupt nicht anstrengend“ bis 10 = „extrem anstrengend“) und angenehm (von 0 = „überhaupt nicht angenehm“ bis 10 = „extrem angenehm“) sie die entsprechende

Aufgabe fanden. Nach der Entscheidungsphase wurden zwei Durchgänge jedes Musikdurchgangstypen und ein Durchgang des Aufgabendurchgangstypen per Zufall ausgewählt und danach umgesetzt.

Die Auslosungen liefen wie folgt ab: Bei jeder Auslosung wurde eine schnell aufsteigende Zahlenabfolge (50 ms pro Zahl) in einer Endlosschleife präsentiert, die sich jeweils von der Zahl eins bis zur Zahl des letzten Durchgangs des jeweiligen Durchgangstypen erstreckte. Sobald die Probanden eine Taste betätigten, wurde die Zahlenabfolge mit zufälliger Verzögerung langsam gestoppt (300 ms pro Zahl). Dann wurden die beiden Optionen des ausgewählten Durchgangs und die damit assoziierte zuvor getätigte Entscheidung zusammen mit ihrem Preis angezeigt. Nach der letzten Auslosung wurden alle Auswahlen mit den entsprechenden Preisen sowie die Summe aller Preise (d.h. der zu zahlende Geldbetrag) in einer Übersicht präsentiert. Nach dieser Auslosungsphase wurden die Probanden aus dem Scanner gefahren und hatten dann die Gelegenheit eine kurze Pause zu machen, bevor sie wieder zurück in den Scanner gefahren wurden. Für die nächste Phase wurde ihnen der Ohrschutz entfernt und stattdessen erhielten sie Kopfhörer zum Musikhören. Es wurden keine weiteren Scans aufgenommen, sodass das Musikhören nicht durch Scannerlärm gestört werden konnte. Im Scanner sollten die Probanden dann die in der Auslosungsphase ausgewählten Aufgaben durchführen und die ausgewählten Musikstücke anhören. Alle Musikstücke wurden auf 65 db eingestellt. Vor der Umsetzung der ersten Entscheidung wurde ein Test-Musikstück vorgespielt. Dabei wurden die Probanden darum gebeten, eine für sie angenehme Lautstärke festzulegen, indem sie dem Versuchsleiter entsprechend mitteilten, dass er die Lautstärke hoch- oder herunterregulieren oder so belassen sollte, wie sie bereits eingestellt war. Auch beim Hören der ausgewählten Musikstücke war es den Probanden jederzeit möglich, die Lautstärke vom Versuchsleiter ändern zu lassen.

Am Ende des Experiments gaben die Probanden außerhalb des Scanners erneut Langeweileratings für die drei Aufgaben ab (dieselbe Skala wie zuvor). Wegen des sequentiellen Designs der Entscheidungsaufgabe wurden die Probanden zusätzlich gefragt, zu welchem Zeitpunkt der Durchgangsabfolge sie ihre Entscheidung getroffen hatten (erste oder zweite Optionsdarbietung oder Wahlbildschirm).

3.1.3. Analyse der Verhaltensdaten

Das Experiment wurde mit dem Computerprogramm Presentation (Neurobehavioral Systems, Version 16.5) programmiert. Die Rohdaten wurden anhand des Programms „Matlab“ (The MathWorks, Version R2012b) aus den Logfiles extrahiert und daraufhin in Microsoft Excel (Microsoft Corporation, Office 2010) visualisiert. Die Statistiksoftware „Statistical Package for the Social Sciences“ (SPSS; IBM, Version 20) wurde für die

statistische Datenanalyse verwendet. Alle Daten wurden im Hinblick auf Ausreißer untersucht. Als Kriterium wurde hierfür ein z-Wert ≥ 3 angesetzt. Die Voraussetzungen der berechneten statistischen Verfahren wurden jeweils überprüft (Field, 2013).

3.1.4. fMRT-Aufnahmen

Die Magnetresonanzbilder wurden auf einem 3-Tesla MRT-Ganzkörperscanner (Magnetom Prisma, Siemens Medical Systems, Erlangen) mit einer 64-Kanal-Kopfspule aufgenommen. Für die funktionelle Bildgebung wurden Gradienten-echo echoplanare Bilder (engl. echo-planar images; EPI) aufgenommen (TR = 2000 ms, Echozeit (engl. echo time; TE)⁹ = 30 ms, 36 Schichten, Voxelgröße = 2.5 x 2.5 x 3 mm, Schichtendicke = 3 mm; Gap = 0.6 mm; Messfeld (engl. field of view) = 192 mm x 192 mm; Matrixgröße = 64 x 64; Flipwinkel = 90°, GRAPPA¹⁰-Beschleunigungsfaktor = 3). Die Bilder wurden mit einer interleaved Sequenz (1 bis 35 in Zweierschritten; 2 bis 36 in Zweierschritten; von unten nach oben) und einer schrägen Orientierung von -30° zur anterioren-posterioren Kommissurlinie aufgenommen. Die schräge Orientierung diente dazu, eventuelle BOLD-Sensitivitätsverluste durch Suszeptibilitätsartefakte zu minimieren (Weiskopf, Hutton, Josephs, & Deichmann, 2006). Die funktionellen Bilder deckten die meisten Teile des Gehirns ab, abgesehen von den dorsalen Teilen des Parietallappens. Die funktionellen Daten wurden in sechs getrennten Blöcken (drei Aufgabenblöcke mit jeweils ca. 175 Volumen und drei Entscheidungsblöcke mit jeweils ca. 340 Volumen) erhoben. Vor der Aufnahme dieser funktionellen Bilder wurde noch ein Ganzhirnbild (50 Schichten) mit denselben EPI-Parametern aufgenommen, um die Normalisierung zu verbessern und die Probanden bereits an die Geräusche der Sequenz zu gewöhnen. Zur Verbesserung der Verzerrungskorrektur der funktionellen Bilder wurde eine Gradienten-echo Field-Map-Sequenz (TE 1 = 10 ms, TE 2 = 12.46 ms, TR = 1000 ms, 40 Schichten, Voxelgröße = 2 x 2 x 3 mm, Matrixgröße = 64 x 64, gesamte Echo-Auslesezeit = 17.23 [(Echo Spacing = 0.68 * Voxelaufösung = 76) / Grappa-Faktor = 3]) aufgenommen. Anatomische Bilder wurden anhand einer T1-gewichteten Sequenz (TR = 1580 ms, TE = 2.3 ms, Voxelgröße = 0.9 x 0.9 x 0.9 mm) und über ein Magnetisierungsübertragungsprotokoll (engl. magnetization transfer; MT) aufgenommen, welches zwei Spin-Echo-Sequenzen mit und ohne MT-Sättigung (TR = 35 ms, TE = 5.5 ms, Voxelgröße = 1 x 1 x 2) beinhaltet. Die MT-Bilder wurden aufgenommen, um die Lokalisierung von Aktivierungen im Mittelhirn zu erleichtern. Es konnte gezeigt werden, dass die SN/VTA auf MT-Bildern schnell und deutlich zu erkennen ist (Eckert, Sailer, Kaufmann, Schrader, Peschel, Bodammer, Heinze, & Schoenfeld, 2004). Kopfbewegungen wurden

⁹ Zeit zwischen einem Anregungspuls und der Messung des Magnetresonanz-Signals im MRT

¹⁰ GRAPPA steht für "GeneRalized Autocalibrating Partially Parallel Acquisition". Dabei handelt es sich um einen Algorithmus zur Bildakquisition.

mithilfe von Schaumpolstern minimiert und der von den Probanden wahrgenommene Scannerlärm wurde durch Ohrstöpsel reduziert.

3.1.5. fMRT-Analyse

Vorverarbeitung und Datenanalyse wurden mit dem Softwarepaket „Statistical Parametric Mapping“ durchgeführt, welches in Matlab implementiert ist (SPM8; Wellcome Trust Centre for Neuroimaging, London, UK). Zunächst wurde die Qualität der funktionellen Rohdaten anhand der Toolbox „ArtRepair“ (Mazaika, Hoefft, Glover, & Reiss, 2009) überprüft. Pro Proband wurde eine interaktive Slideshow der Volumen am Anfang, in der Mitte und am Ende jedes Versuchsdurchlaufs durchgeführt. Weiterhin wurden alle Volumen im Videomodus von ArtRepair im Hinblick auf Auffälligkeiten überprüft. Für jeden Versuchsdurchlauf wurden außerdem vier Volumen (ein Volumen aus jedem Viertel eines Durchlaufs) mit der SPM-Funktion „checkreg“ geprüft. Für eine verbesserte Artefakterkennung wurden die Rohdaten zusätzlich im Kontrastmodus von ArtRepair visualisiert, in welchem die Werte der Bilder im Vergleich zur Normalansicht sechsmal sensitiver dargestellt werden. Vor der Vorverarbeitung der fMRT-Daten wurden der Zeitverlauf der Durchschnittsintensität der Volumen, Standardabweichungen vom Mittelwert sowie Bewegungen von Volumen zu Volumen untersucht. Als Cut-Off-Werte für den Zeitverlauf der Durchschnittsintensität wurde die maximale Abweichung vom Mittelwert auf 1.5% gesetzt. Für Bewegungen von einem Volumen zum nächsten wurden durch ArtRepair Bewegungskorrekturparameter geschätzt und die Schwelle auf 0.5 mm pro TR festgelegt. Schlechte Volumen (im Mittel 1.6% aller Volumen; Spannweite: 0.9-2.3%) wurden durch lineare Interpolation benachbarter Volumen repariert. Es wurden folgende Vorverarbeitungsschritte durchgeführt: Realignment (Bewegungskorrektur) und Unwarping (Homogenisierung der Feldverteilung über die Zeitreihe), Slice timing (Korrektur von Unterschieden in den Akquisitionszeiten der einzelnen Schichten), räumliche Normalisierung basierend auf der Segmentierung des anatomischen Bildes und mit einer Neuberechnung auf 2 x 2 x 2 mm (Interpolation: 7. Grad B-spline), und zuletzt Smoothing (Glätten der Datensätze) mit einem 8 mm Gauß-Kern.

Field maps wurden anhand der Phasendifferenz zwischen den Bildern berechnet, die mit kurzer und langer TE aufgenommen wurden. Dazu wurde die Field-Map-Toolbox verwendet (Hutton, Bork, Josephs, Deichmann, Ashburner, & Turner, 2002). Für das Unwarping wurde die Unwarp-Toolbox (Andersson, Hutton, Ashburner, Turner, & Friston, 2001) angewendet. Nach der Slice-Time-Korrektur wurde das anatomische Bild mit dem gemittelten funktionellen Bild koregistriert, dann wurden die MT-Bilder mit dem gemittelten funktionellen Bild koregistriert und voxelweise in Bezug auf den rigiden Transformationskörper zurecht geschnitten (resliced) und daraufhin wurde das Ganzhirnbild mit dem anatomischen Bild

koregistriert und resliced. All diese Bilder wurden zusammen mit allen funktionellen Bildern normalisiert.

Vor der Durchführung der beschriebenen Vorverarbeitungsschritte wurden alle Bilder manuell in Bezug auf ein T1-gewichtetes im Montreal Neurological Institute (MNI) - Raum befindliches SPM-Template (ursprünglich von Alan Evans, MNI, Canada [ICBM, NIH P-20 Projekt, Projektleiter: John Mazziotta] zur Verfügung gestellt) reorientiert. Nach der Vorverarbeitung wurde die Normalisierung mit der SPM-Funktion checkreg visuell inspiziert. Bei unpräziser Ausrichtung der Bilder wurden die Rohdaten erneut reorientiert und alle Vorverarbeitungsschritte wurden für den entsprechenden Probanden wiederholt.

Die Daten der Entscheidungsblöcke wurden hochpassgefiltert (Cut-off: 128 s) und es wurde ein autoregressives Modell (AR(1)) genutzt, um zu versuchen, die Autokorrelation in den Daten zu schätzen und zu beheben. Für die statistische Analyse wurde für jeden Probanden durchgangsbezogene Aktivität über einen Vektor von Durchgangsonsets modelliert, welcher mit einer kanonischen hämodynamischen Antwortfunktion gefaltet war. Die Entscheidungen der Probanden wurden zum Zeitpunkt der Darbietung der zweiten Option spezifiziert, da 77% der Probanden berichtet hatten, dass sie ihre Entscheidungen zu diesem Zeitpunkt getroffen hätten (13% hatten berichtet, ihre Entscheidungen zum Zeitpunkt der Präsentation des Wahlbildschirms getroffen zu haben und 10% der Probanden waren sich nicht sicher gewesen). Die Preise wurden als parametrische Modulatoren integriert. Vier Boxcar-Regressoren erfassten die Aktivität in Bezug auf die Präsentation der ersten Option: Musik, Langeweileaufgabe, Suchaufgabe, und Bewertungsaufgabe. Sechs Boxcar-Regressoren wurden für Entscheidungen bei den Musikdurchgangstypen während der Präsentation der zweiten Option spezifiziert: Entscheidungen für Musik in jeder der drei Bedingungen, und Entscheidungen für die Aufgabe in jeder der drei Bedingungen. Für den Aufgabendurchgangstyp wurden drei Boxcar-Regressoren spezifiziert, die die Aktivität bezogen auf die Darbietung der Aufgabe als zweite Option repräsentierten. Für die Regressoren zu der ersten und der zweiten Optionsdarbietung wurde als Dauer die Präsentationsdauer dieser Optionen eingestellt (4 s). Für alle Durchgangstypen wurde ein zusätzlicher Boxcar-Regressor für die Darbietung des Wahlbildschirms spezifiziert. Als Dauer wurden hierfür die Reaktionszeiten der Probanden (von Durchgang zu Durchgang) eingestellt. Die aufgeführten Regressoren ließen sich voneinander trennen, da jede Option mit jeder anderen Option gepaart und im Hinblick auf die Entscheidung getrennt war. Anhand einer Designeffizienzschätzung mit dem Programm „FEAT“ (FMRIB software library; Jenkinson, Beckmann, Behrens, Woolrich, & Smith, 2012) wurde ermittelt, dass das beschriebene Design alternativen Designs mit unterschiedlichen Jittern und verschiedenen Durchgangskombinationen überlegen war. Ein allgemeines lineares Modell (engl. general linear model; GLM) wurde für jeden Probanden berechnet, um die interessierenden Effekte

und weitere sechs Regressoren, die verbleibende bewegungsabhängige Artefakte erfassten, zu modellieren. Auf dem First-Level wurde für die Musikdurchgangstypen eine Varianzanalyse (engl. analysis of variance; ANOVA) spezifiziert, wobei die Haupteffekte der Aufgabenoption (Langeweile/Kontrolle) und der Entscheidung (Aufgabe/Musik) sowie die Interaktion dieser Faktoren modelliert wurden. Es schloss sich eine Random-Effect-Second-Level-Analyse zur Ermittlung von Gruppeneffekten an. Die Interaktion (Aufgabenoption x Entscheidung) wurde auf dem Second-Level aufgeschlüsselt, indem die prozentuale Signaländerung aus den Beta-Werten der überschwelligen Voxel in den interessierenden Hirnregionen pro Bedingung mit der SPM-Toolbox „rfxplot“ (Gläscher, 2009) berechnet wurde. Um den Einfluss individueller Differenzen beim Erleben der Aufgabe zu berücksichtigen, wurden folgende Kovariaten verwendet: Unterschiede in den Langeweile-, Interessens-, Anstrengungs-, und Angenehmheitsratings zwischen der Langeweileaufgabe und dem Mittelwert der beiden Kontrollaufgaben. Außerdem wurde der Unterschied im Median des Musikpreises zwischen diesen Bedingungen als Kovariate eingefügt. Der Median des Musikpreises für die Kontrollaufgaben wurde über alle akzeptierten Preise in den Such- und Bewertungsbedingungen hinweg berechnet.

Zusätzlich wurde eine explorative Analyse der Aufgabenblöcke (Langeweileaufgabe, Suchaufgabe, Bewertungsaufgabe) durchgeführt, um zeitlich ausgedehnte Effekte der Empfindung von Langeweile zu untersuchen. Da die Fünfminutenblöcke konstruiert wurden, um zeitlich ausgedehnte Effekte eines internalen Zustands zu messen, war es nicht möglich, eine ereigniskorrelierte Analyse dieser Daten vorzunehmen. Stattdessen wurde eine Unabhängigkeitsanalyse (engl. independent component analysis; ICA) angewendet, da diese für die Analyse langer Blöcke, wie z.B. für die Analyse von Resting-State-Verfahren, geeignet ist (Calhoun, Kiehl, & Pearlson, 2008; Tanabe, Nyberg, Martin, Martin, Cordes, Kronberg, & Tregellas, 2011). Die ICA wurde anhand der „Group ICA of fMRI Toolbox“ (GIFT; Correa, Adali, Li, & Calhoun, 2005) durchgeführt. Hierfür wurden die Aufgaben als drei separate Sessions eingegeben. Die Gruppen-ICA wurde über alle Probanden hinweg durchgeführt. GIFT vollzieht die ICA-Schätzung in drei Schritten: (1) Datenreduktion, (2) Anwendung eines ICA-Algorithmus und (3) Rückrekonstruktion. Im ersten Schritt wird eine Hauptkomponentenanalyse (engl. principal component analysis; PCA) zur Dimensionsreduktion der individuellen Probandendaten angewendet. Die Ergebnisse der Datenreduktion werden im Rückrekonstruktionsschritt verwendet, bei dem für jede Komponente session- und probandenspezifische räumliche Karten sowie Zeitverläufe berechnet werden. Diese individuellen Daten sind für die Berechnung von Mittelwerten, Standardabweichungen und t-Wert-Karten für die gesamte Probandengruppe erforderlich (siehe Calhoun, Adali, Pearlson, & Pekar, 2001). Zur Schätzung unabhängiger Komponenten wurde der Infomax-Algorithmus angewendet (Bell & Sejnowski, 1995), da er die Trennung

nicht-gauß'scher Komponenten ermöglicht, welche die für fMRT relevanten Komponenten darstellen (Calhoun & Adali, 2006). Zur Bestimmung der Anzahl der Komponenten, welche die Daten akkurat repräsentieren sollten, wurde das Minimum-Description-Length-Kriterium (Rissanen, 1978) verwendet. Zweiunddreißig Komponenten wurden aus dem fMRT-Datensatz extrahiert. Um Komponenten für weitere Analysen auszuwählen, wurde für jede Session jede Komponente im Hinblick auf folgende Kriterien untersucht: (1) Aktivierung in mindestens zwei A-priori interessierenden Regionen (engl. regions of interest; ROIs): Insula, Amygdala und Striatum, (2) keine Ventrikel-Aktivierung, die 30 Voxel überschreitet und (3) keine aktivierten Voxel außerhalb des Gehirns. Eine Komponente erfüllte diese Kriterien und wurde deshalb weitergehend untersucht. Die visuelle Inspektion der verworfenen Komponenten deutet darauf hin, dass es sich bei den meisten dieser Komponenten um kardial induzierte pulsatile Artefakte, Augen- oder Kopfbewegungen handelte. Die Daten der ausgewählten Komponente wurden in SPM 8 für Random-Effects-Gruppenanalysen eingegeben. Aufgrund von Restriktionen der GIFT-Software konnten die beiden Kontrollblöcke nicht für die statistische Analyse kombiniert werden. Die Bewertungsaufgabe wurde im Vergleich zur Suchaufgabe als langweiliger bewertet ($t_{29} = 2.15$, $p = .04$, $d = 0.36$) und sechs Probanden erreichten nicht das Kriterium, die Bewertungsaufgabe beim Langweilerating < 3 im Vergleich zur Langweileaufgabe zu bewerten. Deshalb wurde für diese Analyse die Langweileaufgabe mit der Suchaufgabe unter Verwendung einer Ganzhirn family-wise error (FWE) - korrigierten Schwelle verglichen.

Für die Analyse der Entscheidungsphase wurden Hirnregionen bestimmt, von denen in der Literatur berichtet wurde, dass sie an Belohnungsverarbeitung, Entscheidungsverhalten und Langeweile beteiligt sind. Zur Sichtung der Ergebnisse wurde zunächst eine Schwelle von $p < .005$ (unkorrigiert) gewählt. Dann wurden die Ergebnisse für Mehrfachvergleiche anhand der Small-Volume-Correction (SVC) in A-priori-ROIs korrigiert ($p < .05$, FWE-korrigiert). Die SVCs wurden anhand einer anatomischen Maske des bilateralen Nucleus caudatus aus dem probabilistischen Atlas von Harvard-Oxford (Harvard Center for Morphometric Analysis) und anhand einer probabilistischen anatomischen Maske der bilateralen SN/VTA (Keuken, Bazin, Crown, Hootsmans, Laufer, Müller-Axt, Sier, van der Putten, Schäfer, & Turner, 2014) vollzogen. Der Nucleus caudatus wurde aufgrund seiner Rolle bei zielgerichteten Entscheidungen ausgewählt (Balleine & O'Doherty, 2009). Die SN/VTA ROI wurde wegen ihrer Rolle bei der Kodierung von Belohnungswerten und ihrer Bedeutung für das dopaminerge System (Duzel, Bunzeck, Guitart-Masip, Wittmann, Schott, & Tobler, 2009) sowie aufgrund ihres Einflusses bei Entscheidungsverhalten (Wittmann et al., 2008) gewählt. Um den Einfluss von Regionen, die bei der Signalisierung des Langweilezustands während der Langweileaufgabe involviert waren, auf das Entscheidungsverhalten zu untersuchen, wurden funktionelle ROIs der Insula und der Amygdala anhand der SPM-Toolbox „Marsbar“

(Brett, Anton, Valabregue, & Poline, 2002) definiert. Diese ROIs wurden aus signifikanten Aktivierungen in der Aufgabenphase erstellt und für die Analyse der Entscheidungsphase verwendet. Zusätzlich wurde eine SVC-Analyse mit einer bilateralen anatomischen Maske des NAc aus dem probabilistischen Atlas von Harvard-Oxford getätigt, um die anatomische Selektivität der Ergebnisse im Hinblick auf den Nucleus caudatus zu untersuchen. Aktivierungen werden veranschaulicht, indem sie auf den über alle Probanden gemittelten anatomischen MRT-Scan überlagert werden. Stereotaktische Koordinaten werden im MNI-Raum angegeben.

3.2. Ergebnisse

Die Durchschnittswerte der Verhaltensdaten werden, wenn nicht anders angegeben, als Mittelwerte \pm SEM aufgeführt. Sofern für die gegebenen Daten keine Normalverteilung angenommen werden konnte, wurden für eine angemessene Beschreibung der Daten die Mediane mit der absoluten Abweichung vom Median (engl. median absolute deviation; MAD) verwendet.

3.2.1. Verhaltensergebnisse

3.2.1.1. Aufgabenratings

Zunächst wurde überprüft, ob die Probanden alle Aufgabenblöcke instruktionskonform ausgeführt haben und ob die Langweilemanipulation erfolgreich war (Abbildung 6).

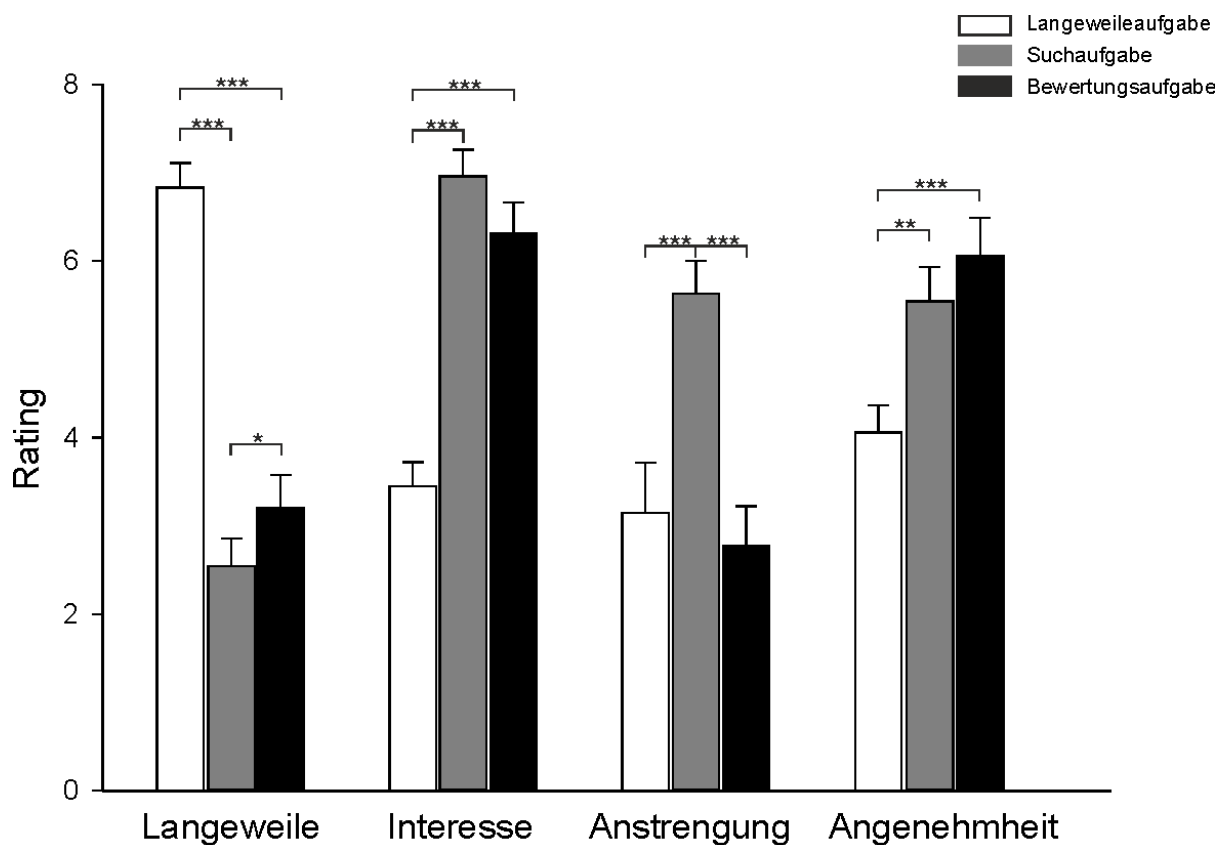


Abbildung 6. Verhaltensratings. Durchschnittliche Ratings der drei Aufgaben. Langeweile-, Anstrengungs- und Angenehmheitsratings wurden auf einer Skala von 0-10 erhoben (0 = niedrig, 10 = hoch). Das Interessenrating wurde auf einer Skala von 1-7 abgefragt, damit es der Skala des Interessenratings, welches im Onlinefragebogen für die Musikstücke verwendet wurde, entsprach. Zur Veranschaulichung wurde diese Skala hier auf eine Spanne von 0-10 skaliert. Die Fehlerbalken geben den SEM an. * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$.

Die Probanden erbrachten in der Langeweile- und in der Suchaufgabe hohe Leistungen. Sie hatten in den meisten Durchgängen geringe Fehlerraten, was dafür spricht, dass sie die Aufgaben erfolgreich und wie beabsichtigt bearbeitet haben (durchschnittlicher prozentualer Anteil korrekter Antworten \pm SEM: Langeweileaufgabe $98.9 \pm 0.3\%$; Suchaufgabe $88.3 \pm 1.2\%$). In der Bewertungsaufgabe gefielen Ihnen die meisten Bilder (durchschnittlicher Prozentsatz der Bilder, die den Probanden gefallen haben \pm SEM: $65.0 \pm 2.2\%$; verpasste Durchgänge: $2.2 \pm 0.6\%$).

Die Aufgaben unterschieden sich signifikant auf allen Ratingskalen (Langeweile: $F_{2,68} = 163.12$, $p < .001$; Angenehmheit: $F_{2,68} = 8.66$, $p < .001$; Interesse: $F_{2,68} = 55.23$, $p < .001$; Anstrengung: $F_{2,68} = 15.73$, $p < .001$). Post-hoc-Tests bestätigten die Annahme, dass die Langeweileaufgabe als langweiliger (Suchaufgabe: $t_{34} = 17.78$, $p < .001$, $d = 2.64$; Bewertungsaufgabe: $t_{34} = 15.88$, $p < .001$, $d = 1.89$), weniger angenehm (Suchaufgabe: $t_{34} = 2.99$, $p = .005$, $d = 0.78$; Bewertungsaufgabe: $t_{34} = 3.93$, $p < .001$, $d = 0.97$) und weniger interessant (Suchaufgabe: $t_{34} = 12.49$, $p < .001$, $d = 2.23$; Bewertungsaufgabe: $t_{34} = 7.17$, $p < .001$, $d = 1.67$) im Vergleich zur jeweiligen Kontrollaufgabe bewertet werden würde. Erwartungsgemäß wurde die Suchaufgabe als anstrengender im Vergleich zu den anderen Aufgaben beurteilt (Langeweileaufgabe: $t_{34} = 4.77$, $p < .001$, $d = 0.92$; Bewertungsaufgabe: $t_{34} = 5.77$, $p < .001$, $d = 1.26$). Insgesamt bestätigen diese Ergebnisse, dass die Langeweilemanipulation erfolgreich war. Anhand von Spearman-Korrelationen zwischen den Langweileratings, die direkt nach jeder Aufgabe erhoben wurden, und den Langweileratings, die am Ende des Experiments ermittelt wurden, ergab sich ebenfalls, dass die Langeweileaufgabe über den Verlauf des Experiments hinweg als langweilig wahrgenommen wurde (Langweileratings zur Langeweileaufgabe: $r = .49$, $p = .003$; Langweileratings zu allen drei Aufgaben: $r = .58$, $p < .001$).

Der Einfluss langeweilebezogener Persönlichkeitseigenschaften auf Aufgabenratings wurde anhand der Skala Streben nach Neuheit des TPQ (Verteilung in der Verhaltensstichprobe: Mittelwert \pm SD = 23.2 ± 6.8 , Spannweite = 11-35), der BSS aus Zuckermans Sensation-Seeking-Skala (Verteilung: Mittelwert \pm SD = 3.2 ± 1.8 , Spannweite = 0-7) und der BPS (Verteilung: Mittelwert \pm SD = 83.9 ± 16.1 , Spannweite = 53-126) erhoben. Untersucht wurde die Korrelation dieser Skala mit den Aufgabenratings und Preisen. Es wurden keine signifikanten Effekte gefunden (alle p 's > 0.1). Allerdings wurde die vorliegende Verhaltensstichprobe mit $n = 35$ zusätzlich in eine größere Stichprobe mit $n = 77$ Probanden (24.8 ± 3.1 Jahre, 43 Frauen) integriert. Die zusätzlichen Probanden haben die Langeweileaufgabe ebenso durchgeführt und anschließend verschiedene Aufgaben

bearbeitet (Verteilung beim Merkmal Streben nach Neuheit: Mittelwert \pm SD = 21.8 ± 6.7 , Spannweite = 8-36; Verteilung bei Boredom Susceptibility: Mittelwert \pm SD = 3.0 ± 1.7 , Spannweite = 0-7; Verteilung bei Boredom Proneness: Mittelwert \pm SD = 86.5 ± 16.6 , Spannweite = 53-126). In dieser größeren Stichprobe wurde eine multiple lineare Regressionsanalyse mit den Langeweileratings als abhängige Variable und den Persönlichkeitswerten der genannten drei Skalen sowie Interessens-, Anstrengungs- und Angenehmheitsratings und der Experimentalgruppe als unabhängige Variablen durchgeführt. Es resultierte Boredom Proneness als signifikanter Prädiktor für die Langeweileratings ($B \pm SEM = 0.03 \pm 0.01$, $\beta = 0.30$, $p = .014$).

3.2.1.2. Entscheidungen

Als Nächstes wurden die Entscheidungen der Probanden bei der Entscheidungsaufgabe analysiert. Erwartungsgemäß hat die adaptive Prozedur zur Bestimmung der Musikpreise ihren Zweck erfüllt, extreme Entscheidungen zu verhindern (durchschnittlicher Prozentsatz von Entscheidungen für Musik \pm SEM in der fMRT-Stichprobe: Langeweilebedingung $44.4 \pm 1.9\%$; Suchbedingung $44.4 \pm 1.8\%$; Bewertungsbedingung $43.2 \pm 2.1\%$). Dadurch war eine ausreichende Anzahl an Durchgängen für die fMRT-Analyse sichergestellt. Es konnte außerdem bestätigt werden, dass die Probanden die Kontrollaufgaben gegenüber der Langeweileaufgabe stark bevorzugten. Dies wurde anhand des Aufgabendurchgangstyps bestätigt, also anhand der Durchgänge, in denen nur die Aufgabenoptionen vorkamen ($F_{1.7, 57.4} = 21.54$, $p < .001$; Tabelle 1).

Tabelle 1

Entscheidungsverhalten beim Aufgabendurchgangstypen

		Alternative Option		
		Langeweile	Suche	Bewertung
Aufgabe gewählt [%]	Langeweile	-	16.4 ± 4.9	18.6 ± 5.3
	Suche	80.0 ± 5.3	-	52.4 ± 7.7
	Bewertung	76.0 ± 6.0	44.8 ± 7.4	-

Prozentsatz von Durchgängen [\pm SEM], in denen jede Aufgabe im Verhältnis zur alternativen Aufgabenoption gewählt wurde. Aufgrund von fehlenden Antworten summieren sich die Entscheidungen pro Bedingung nicht zu 100% auf. Durchschnittlicher Prozentsatz der Aufgabenwahl, unabhängig von der alternativen Option: Langeweileaufgabe $17.5 \pm 3.8\%$, Suchaufgabe $66.2 \pm 5.4\%$, Bewertungsaufgabe $60.4 \pm 5.8\%$.

Die Langeweileaufgabe wurde signifikant seltener als die Suchaufgabe ($t_{34} = 7.43, p < .001, d = 1.92$) und als die Bewertungsaufgabe ($t_{34} = 5.42, p < .001, d = 1.62$) gewählt.

3.2.1.3. Preise

Im nächsten Schritt wurde die Annahme geprüft, dass die Probanden höhere Musikpreise akzeptieren würden, wenn es sich bei der alternativen Option um die Langeweileaufgabe handelte, jeweils verglichen mit den Durchgängen, in denen die beiden Kontrollaufgaben die alternative Option darstellten. Dazu wurde zunächst ein Friedman-Test für gepaarte nichtparametrische Stichproben mit den Medianpreisen berechnet, da die Voraussetzung der Normalverteilung bei den vorliegenden Daten verletzt war ($\chi^2 = 17.84, p < .001$; Abbildung 7).

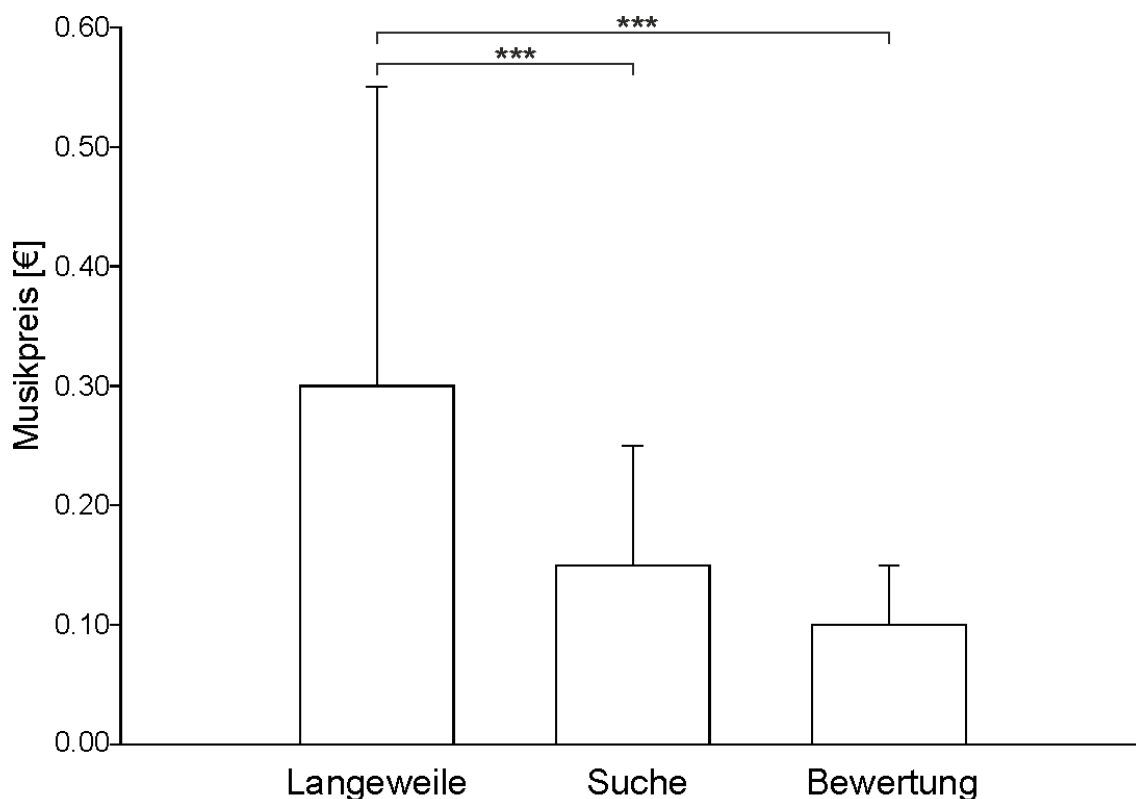


Abbildung 7. Wahlverhalten. Median-Musikpreise in jeder Aufgabenbedingung. Fehlerbalken geben die MAD an. *** $p < .001$.

Post-hoc-Tests (Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests) zeigten, dass die Musikpreise, wie erwartet, in der Langeweilebedingung signifikant höher im Vergleich zur Suchbedingung ($Z = -3.90, p < .001, r = -0.47$) und zur Bewertungsbedingung ($Z = -3.72, p < .001, r = -0.44$) waren.

Als Nächstes wurde die Hypothese getestet, dass individuelle Differenzen in der Langeweilerfahrung Differenzen in den Preisen zwischen den Bedingungen treiben. Dazu wurde eine multiple lineare Regression mit den Differenzen in den akzeptierten Preisen

zwischen der Langeweileaufgabe und den kombinierten Kontrollaufgaben als Kriterium und den Differenzen in den Langeweile-, Interessens-, Anstrengungs- und Angenehmheitsratings jeweils zwischen der Langeweileaufgabe und den kombinierten Kontrollaufgaben als unabhängige Variablen berechnet. Die individuelle Differenz in den Langweileratings ergab sich als einziger signifikanter Prädiktor für den Preis ($B \pm \text{SEM} = 7.16 \pm 3.44$, $\beta = 0.35$, $p = .046$). Abbildung 8 zeigt die Korrelation zwischen den Differenzen im Preis und den Differenzen in den Langweileratings zwischen der Langeweile- und den (kombinierten) Kontrollbedingungen.

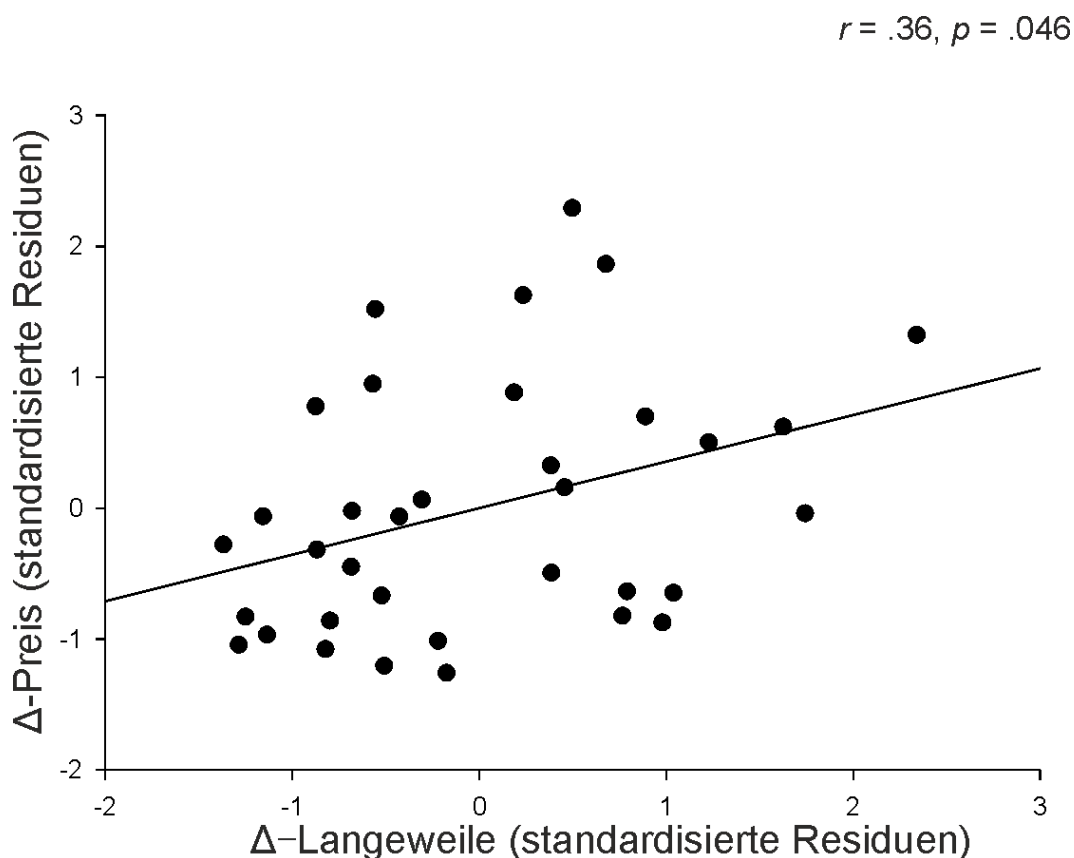


Abbildung 8. Korrelation zwischen der Differenz in den Langweileratings (Δ -Langeweile) und der Differenz in den Musikpreisen (Δ -Preis) zwischen der Langeweile- und den Kontrollbedingungen unter Konstanthaltung der Differenzen in den Interessens-, Anstrengungs-, und Angenehmheitsratings. Die individuellen Werte werden als standardisierte Residuen aus einer Regressionsanalyse angezeigt.

Diese Ergebnisse stützen die Annahme, dass die Marktpreise der Musik durch die Motivation, Langeweile zu vermeiden, getrieben wurden und nicht durch andere affektive Unterschiede zwischen den Aufgaben.

3.2.1.4. Reaktionszeiten

Eine 2 x 3 ANOVA mit den Reaktionszeiten in der Entscheidungsphase als abhängige Variable und den Faktoren Entscheidung (Aufgabe/Musik) und Aufgabenoption (Langeweile/Suche/Bewertung) ergab einen signifikanten Haupteffekt beim Faktor Aufgabenoption ($F_{2,68} = 96.89$, $p < .001$), keinen Effekt beim Faktor Entscheidung ($F_{1,34} = 1.87$, $p = .181$) und keinen Interaktionseffekt ($F_{2,68} = 0.60$, $p = .554$). Post-hoc t-Tests ergaben längere Reaktionszeiten für Entscheidungen, bei denen die Langeweileaufgabe vorkam, im Vergleich zu Entscheidungen, bei denen die Suchaufgabe ($t_{34} = 2.63$, $p = .013$, $d = 0.25$) und die Bewertungsaufgabe ($t_{34} = 16.53$, $p < .001$, $d = 1.17$) Optionen waren. Weiterhin ergaben sich längere Reaktionszeiten für Entscheidungen mit der Suchaufgabe, verglichen mit Entscheidungen mit der Bewertungsaufgabe als Option ($t_{34} = 9.26$, $p < .001$, $d = 0.94$; durchschnittliche Reaktionszeiten \pm SEM: Langeweile 953 ± 22 ms; Suche 920 ± 22 ms; Bewertung 793 ± 24 ms).

3.2.2. fMRT-Ergebnisse

3.2.2.1. Aufgabenblöcke

Im Folgenden werden die Ergebnisse der explorativen ICA dargestellt, bei der die Effekte der Durchführung der Langeweileaufgabe mit den Effekten der Durchführung der Suchaufgabe verglichen wurden. Diese Untersuchung der zeitlich ausgedehnten Effekte der Langeweileerfahrung war nicht der Hauptzweck von Studie 1.

Eine unabhängige Komponente, welche die rechte Amygdala, die bilaterale Insula, den dACC, den bilateralen DLPFC und den rechten ventrolateralen präfrontalen Kortex (VLPFC) umfasste, war während der Langeweileaufgabe im Vergleich zur Suchaufgabe signifikant stärker aktiviert (Abbildung 9).

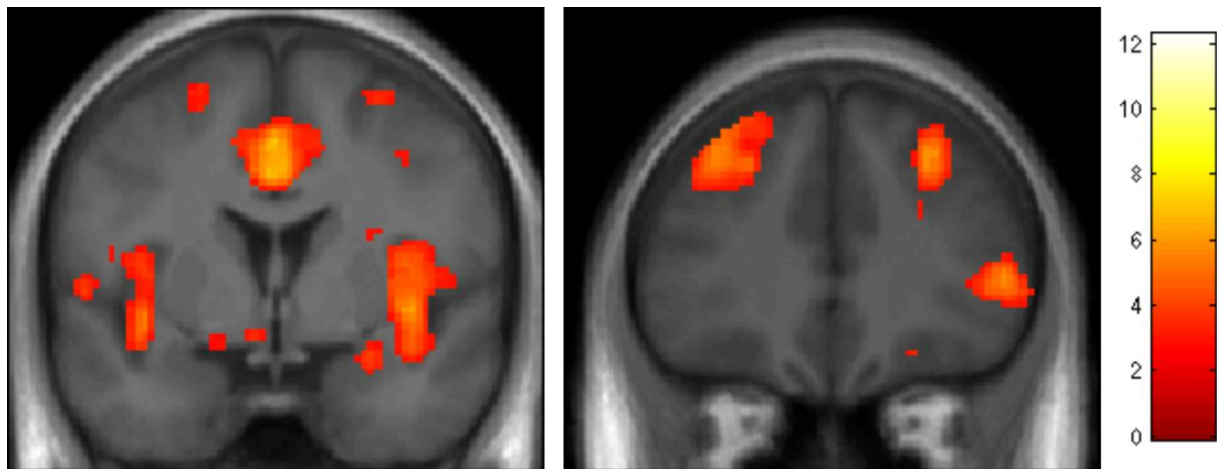


Abbildung 9. Neuronale Antwort bei der Langweilerefahrung. Anhand einer Gruppen-ICA wurde zeitlich ausgedehnte neuronale Aktivität während der fünfminütigen Aufgabenblöcke gemessen. Während der Langweileaufgabe war eine unabhängige Komponente mit dem bilateralen DLPFC, dem rechten VLPFC, der bilateralen Insula und dem dACC (alle Ganzhirn-FWE-korrigiert, $p < .05$) sowie mit der Amygdala ROI (SVC-korrigiert, $p < .05$) im Vergleich zur Suchaufgabe signifikant stärker aktiviert. Peak-MNI Koordinaten für den DLPFC: (-36, 38, 36), (28, 34, 40); VLPFC: (50, 34, 6); Insula: (-38, -4, -4), (-40, -10, -5), (-38, -12, 0), (42, 8, -2); dACC: (-2, 0, 35), (0, -2, 45), (4, 8, 36); Amygdala: (28, 0, -16). Die Cluster sind in neurologischer Orientierung mit einer Schwelle von $p < .005$ (unkorrigiert) und einer minimalen Clustergröße = 5 Voxel angezeigt. Der farbige Balken gibt die t-Werte an.

3.2.2.2. Entscheidungsphase

Die fMRT-Daten der Entscheidungsphase wurden anhand einer 2 x 2 ANOVA mit den Faktoren Bedingung (Langeweile/Kontrolle) und Entscheidung (Aufgabe/Musik) analysiert. Es wurde ein Ansatz gewählt, bei dem die Haupteffekte und Interaktionen auf dem First-Level modelliert wurden und anschließend eine Random-Effects-Second-Level Analyse durchgeführt wurde (Penny & Henson, 2007). Um den Einfluss von Preisdifferenzen zwischen den Bedingungen zu kontrollieren, wurden die Musikpreise jedes Durchgangs als parametrische Regressoren auf dem First-Level modelliert. Als Kovariaten wurden individuelle Differenzen in den fünf aufgabenbezogenen Variablen, die sich signifikant zwischen den Bedingungen unterschieden, mit einbezogen: vier Aufgabenratings und der Median des akzeptierten Musikpreises. Für jeden Probanden wurden die Differenzwerte zu jeder Variable wie folgt ermittelt: Rating/Median-Preis in der Langweilebedingung minus gemittelt Rating/gemittelter Median-Preis der beiden Kontrollbedingungen. Daraus resultierten die Differenzwerte Δ -Langeweile, Δ -Angenehmheit, Δ -Interesse, Δ -Anstrengung und Δ -Preis.

Es wurden Hirnregionen untersucht, die den beobachteten Entscheidungseffekt der Langeweileantizipation vermittelt haben könnten. Hierzu wurde die Interaktion der ANOVA zwischen den Faktoren Bedingung und Entscheidung analysiert. Es wurde erwartet, dass die Entscheidung, Langeweile zu vermeiden, im Vergleich zur Entscheidung, die Kontrolle zu vermeiden, erhöhte Aktivierungen im dorsomedialen Striatum und in der SN/VTA hervorrufen würde, da diese Regionen an der Wertrepräsentation und an der Vermittlung von Entscheidungen beteiligt sind (Balleine & O'Doherty, 2009; Wittmann et al., 2008). Dementsprechend wurde eine signifikante Bedingung x Entscheidung Interaktion in der Nucleus caudatus ROI gefunden, die überwiegend von einer erhöhten Aktivierung im Nucleus caudatus getrieben war, wenn die Probanden Langeweile vermieden hatten, im Vergleich dazu, wenn sie die Kontrollaufgaben vermieden hatten (Abbildung 10, Tabelle 2).

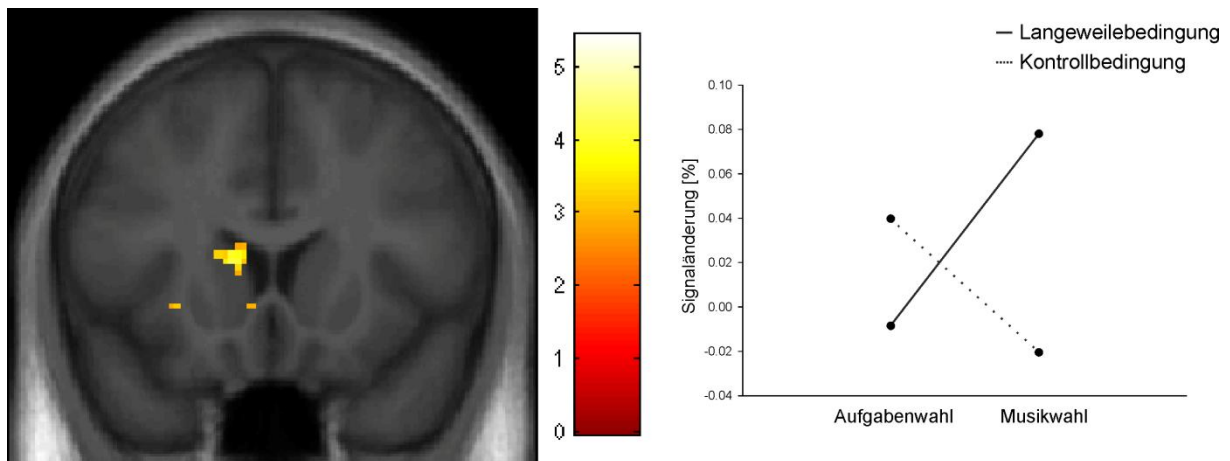


Abbildung 10. Neuronale Antwort bei langweilemotivierten Entscheidungen. Signifikante Interaktion zwischen der Bedingung (Langeweile/Kontrolle) und der Entscheidung (Aufgaben/Musik) im Nucleus caudatus (MNI Peak-Koordinaten: -12, 16, 10; SVC, $p < .05$). Im rechten Teil der Abbildung ist der durchschnittliche Prozentsatz der Signalveränderung im aktivierten Cluster dargestellt, um die Richtung des Interaktionseffekts zu zeigen. Die Aktivierung war höher, wenn die Probanden Langeweile vermieden hatten, im Vergleich dazu, wenn sie die Kontrollaufgaben vermieden hatten. Sie war geringer, wenn sie sich für die Langeweile entschieden hatten, im Vergleich dazu, wenn sie sich für die Kontrollaufgaben entschieden hatten. Die Cluster sind in neurologischer Orientierung mit einer Schwelle von $p < .005$ (unkorrigiert) und einer minimalen Clustergröße = 5 Voxel angezeigt. Der farbige Balken gibt die t-Werte an.

Tabelle 2
ROI-Ergebnisse

Region	MNI-Koordinaten (x, y, z)	Peak-Statistik	
		z-Wert	p-Wert*
Interaktion: Bedingung x Entscheidung			
Nucleus caudatus	-12, 16, 10	3.54	.036
Δ -Preis Korrelation mit der Interaktion			
Insula	-44, -10, -6	3.63	.023

Peak-MNI-Koordinaten und Statistik für ROIs mit signifikanten Effekten in einer 2x2 ANOVA mit den Innersubjektfaktoren Bedingung (Langeweile/Kontrolle) und Entscheidung (Aufgabe/Musik) sowie den Kovariaten Δ -Langeweile, Δ -Interesse, Δ -Anstrengung, Δ -Angenehmheit und Δ -Preis. *In der entsprechenden ROI FWE-korrigiert.

Die Ergebnisse sprechen dafür, dass der Nucleus caudatus den Drang, Langeweile zu vermeiden, repräsentiert und zwar sogar auf Kosten höherer Kaufpreise. Um zu überprüfen, ob diese Ergebnisse für das dorsale Striatum selektiv sind, wurde die Aktivierung im NAc untersucht. Es gab keine signifikanten Haupteffekte und keinen Interaktionseffekt im NAc. Es wurde keine signifikante Interaktion in der SN/VTA gefunden.

Weiterhin wurde analysiert, ob Regionen, die während der Langeweileaufgabe aktiviert waren, langeweilebezogene Entscheidungen während der Entscheidungsphase beeinflussten. Es wurden Aktivierungen in funktionellen ROIs der Insula und der Amygdala analysiert, da diese Regionen während der Durchführung der Langeweileaufgabe im Vergleich zur Ausübung der Suchaufgabe signifikant aktiviert waren (siehe Abschnitt 3.2.2.1). Daraus resultierte, dass die Aktivierung in der Insula signifikant von individuellen Differenzen im akzeptierten Musikpreis moduliert war (Abbildung 11). Der Interaktionseffekt zwischen der Bedingung (Langeweile/Kontrolle) und der Entscheidung (Aufgabe/Musik) korrelierte signifikant mit Δ -Preis. Aufgrund dessen wurde der Einfluss von zunehmendem Δ -Preis auf den neuronalen Interaktionseffekt untersucht, indem die Probanden basierend auf einem Median-Split in eine Gruppe mit höherem und in eine Gruppe mit niedrigerem Δ -Preis aufgeteilt wurden. Für diese beiden Probandengruppen wurden die Parameterschätzer extrahiert (Abbildung 11, rechtes Diagramm). Bei den Probanden mit höherem Δ -Preis war die Aktivierung in der Insula höher, wenn sich die Probanden für die Langeweileaufgabe entschieden hatten, im Vergleich dazu, wenn sie sich für die Musik oder für die Kontrollaufgaben entschieden hatten. Im Gegensatz dazu spiegelte die Insula-Aktivierung die Entscheidungen der Probanden mit geringem Δ -Preis nicht wider. Demnach erhöhte sich die Insula-Aktivierung bei Entscheidungen für die Langeweileaufgabe mit zunehmenden Auswirkungen der drohenden Langeweile auf Entscheidungen. Die Insula-

Aktivierung war bei Probanden am höchsten, die die höchsten Preise akzeptierten, um die Langweileaufgabe in Zukunft zu vermeiden.

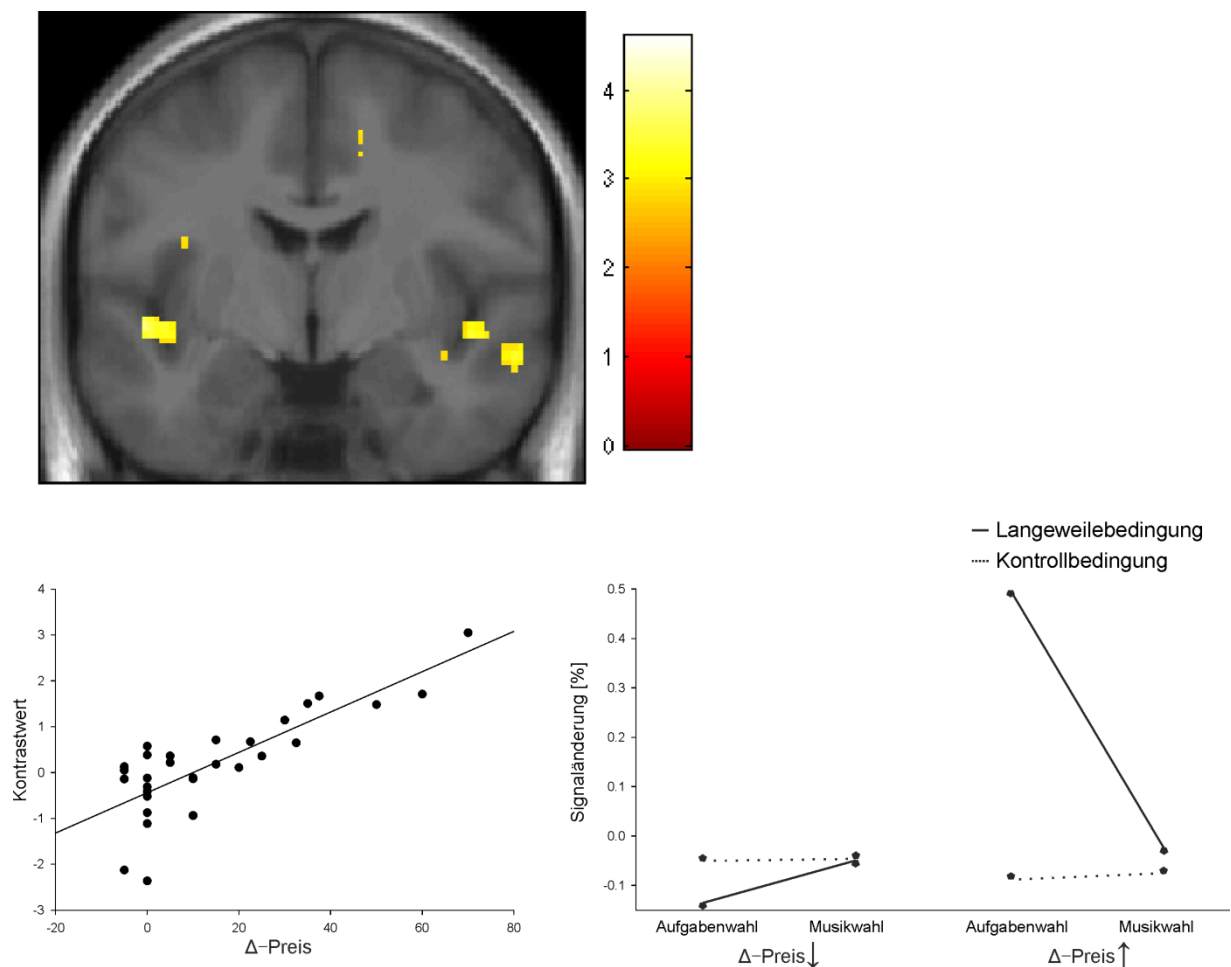


Abbildung 11. Neuronale Antwort bei langweilemotivierten Entscheidungen.

Die Aktivierung in der Insula war signifikant durch individuelle Differenzen im akzeptierten Musikpreis moduliert. Oben: In der Insula (MNI Peak-Koordinaten: -44, -10, -6) war der Interaktionseffekt zwischen der Bedingung und der Entscheidung signifikant mit Δ -Preis korreliert (SVC, $p < .05$). Unten: Das linke Diagramm illustriert die Korrelation zwischen den individuellen Kontrastwerten für diese Interaktion und Δ -Preis. Das rechte Diagramm zeigt den durchschnittlichen Prozentsatz der Signalveränderung im aktivierten Cluster, getrennt für Probanden mit geringem und hohem Δ -Preis (durch einen Median-Split gruppiert). Bei Probanden mit höherem Δ -Preis war die Aktivierung bei der Entscheidung für die Langweileaufgabe höher, im Vergleich zur Entscheidung für die Kontrollaufgaben oder für die Musik. Die Cluster sind in neurologischer Orientierung mit einer Schwelle von $p < .005$ (unkorrigiert) und einer minimalen Clustergröße = 5 Voxel angezeigt. Der farbige Balken gibt die t-Werte an.

Um sicherzustellen, dass diese Ergebnisse nicht auf Unterschiede in Persönlichkeitseigenschaften bezogen auf Langeweile oder Neuheit zurückzuführen sind, wurden die beiden Probandengruppen mit hohem und niedrigem Δ -Preis hinsichtlich dieser Eigenschaften miteinander verglichen. Es ergaben sich keine signifikanten Unterschiede (alle p 's $> .3$). Demnach war die Aktivierung in der Insula selektiv durch Langweileeffekte

moduliert. Insgesamt weisen diese Ergebnisse darauf hin, dass Regionen im Belohnungssystem die motivationalen Effekte der Langeweileantizipation differentiell vermitteln.

Zur Erleichterung zukünftiger Untersuchungen zu Langeweile und Entscheidungen sind explorative fMRT-Ergebnisse (unkorrigiert $p < .001$, minimale Clustergröße = 5 Voxel) in Tabelle 3 aufgeführt.

Tabelle 3

Explorative fMRT-Ergebnisse außerhalb der A-priori-ROIs (Entscheidungsphase)

Region	Cluster-Statistik		Peak-Statistik	
	p-Wert	Clustergröße (Voxel)	z-Wert	MNI-Koordinaten (x, y, z)
Interaktion				
Bedingung x Entscheidung				
Gyrus cinguli posterior	.136	36	3.80	0, -38, 38
	.201	26	3.57	-2, -52, 20
Okzipitaler Kortex	.063	59	3.72	-2, -66, 8
Mammillarkörper	.228	23	4.13	-2, -10, -12
Cerebellum	.547	6	3.39	42, -50, -36
Gyrus cinguli anterior (rostral)	.547	6	3.24	-8, 42, 2
DLPFC	.586	5	3.50	-16, 44, 44
Δ -Preis Korrelation mit Interaktion				
Gyrus postcentralis	.586	5	3.86	40, -22, 50
Thalamus	.586	5	3.42	10, -26, 12

Cluster- und Peak-Statistik sind für alle Aktivierungen bei $p < .001$ (unkorrigiert) und einer minimalen Clustergrößenschwelle von 5 Voxeln angegeben. Die Aktivierungen stammen aus einer 2x2 ANOVA mit den Innersubjektfaktoren Bedingung (Langeweile/Kontrolle) und Entscheidung (Aufgabe/Musik) und den Kovariaten Δ -Langeweile, Δ -Interesse, Δ -Anstrengung, Δ -Angenehmheit und Δ -Preis.

4. Studie 2 – Einflüsse kontextueller Neuheit auf intertemporale Entscheidungen

4.1. Methoden

4.1.1. Experiment 1

4.1.1.1. Stichprobe

In Experiment 1 wurden insgesamt 35 gesunde, rechtshändige Probanden untersucht. Acht Probanden wurden von der Analyse ausgeschlossen, da sie die Einschlusskriterien der Untersuchung nicht erfüllten (siehe Abschnitt 4.1.1.3). Es blieben somit 27 Probanden (mittleres Alter \pm SD: 24.5 \pm 3.8 Jahre, 18 Frauen) in der Stichprobe. Für Reaktionszeitanalysen wurde ein weiterer Proband ausgeschlossen, da für ihn in einer Versuchsbedingung keine Reaktionszeiten vorlagen (siehe Abschnitt 4.2.1.3). Bei Reaktionszeitanalysen blieben demnach 26 Probanden (mittleres Alter \pm SD: 24.5 \pm 3.8 Jahre, 17 Frauen) in der Stichprobe. Alle Probanden gaben an, keine neurologischen und/oder psychiatrischen (Vor)erkrankungen zu haben und keine ZNS-aktiven Medikamente einzunehmen. Die Sehkraft der Probanden lag im Normalbereich oder war entsprechend korrigiert (Brille/Kontaktlinsen). Die Vertrautheit der dargebotenen Stimuli war ein Ausschlusskriterium für die Teilnahme an der Untersuchung und wurde anhand einer Probandenliste mit den Namen der Teilnehmer aus früheren Untersuchungen der Abteilung überprüft. Dies war notwendig, um ungewollte Neuheitseffekte zu vermeiden, die Vergleiche zwischen den Versuchsbedingungen invalidiert hätten. Vor Beginn der Untersuchung wurde den Probanden eine schriftliche Einwilligungserklärung zur Teilnahme vorgelegt, mit der Möglichkeit des jederzeitigen und folgenlosen Rücktritts von der Untersuchung. Die Probanden wurden vor der Untersuchung über die Dauer und die mögliche Vergütung aufgeklärt. Als finanzielle Aufwandsentschädigung für die Teilnahme an der Untersuchung wurden den Probanden zwei ihrer Entscheidungen ausbezahlt, die sie während des Experiments getroffen hatten. Die Teilnahme an der Studie war freiwillig. Die Pseudonymisierung der Daten wurde durch die Angabe von Versuchspersonen-Codes gewährleistet. Die Datenerhebung fand in einem standardisierten Testraum der Justus-Liebig-Universität Gießen statt und alle Daten wurden von demselben Versuchsleiter erhoben. Die lokale Ethikkommission der Abteilung für Psychologie und Sportwissenschaften der Justus-Liebig-Universität Gießen hat die vorliegende Untersuchung für ethisch unbedenklich erklärt. Die Probanden wurden durch Aushänge auf die Untersuchung aufmerksam gemacht. Über diese Aushänge wurde ihnen die Möglichkeit gegeben, sich auf einer Internetseite für den Versuch einzutragen (Hauptseite: <http://www.moreganize.ch>). Außerdem wurden sie über den Rundmailservice der Justus-Liebig-Universität Gießen rekrutiert. Rundmails wurden an alle Studierende der Universität versendet. Für die Untersuchung wurden Personen im Alter zwischen 20 und 35 Jahren zugelassen. Als

Testzeitpunkte wurden Termine von montags bis sonntags zwischen 10.00 Uhr und 20.00 Uhr angeboten.

4.1.1.2. Versuchsablauf

Das Experiment wurde für jeden Probanden an einem Tag durchgeführt. Zunächst wurde eine intertemporale Entscheidungsaufgabe durchgeführt, um den individuellen Diskontierungsgrad des jeweiligen Probanden zu ermitteln (Kalibrierungsverfahren). Danach wurden die Probanden mit Bildern familiarisiert, die in der anschließenden Hauptaufgabe zu intertemporalen Entscheidungen verwendet wurden (Entscheidungsphase). Am Ende der Untersuchung füllten die Probanden über das Online-Umfragesystem „soSci ofb - der onlineFragebogen“ (Leiner, 2014) einen Persönlichkeitsfragebogen, den TPQ (Cloninger et al., 1991; Richter et al., 2000) aus. Sie wurden zu einer aufmerksamen und gewissenhaften Teilnahme aufgefordert. Es wurde ihnen weiterhin eine Frage zu ihrem Nettoeinkommen gestellt und sie wurden zusätzlich gefragt, wie gut sie mit dem Geld auskommen, das ihnen insgesamt zum Leben zur Verfügung steht (Geldsuffizienz). Bevor diese Fragen gestellt wurden, wurde den Probanden die Relevanz dieser Fragen erklärt. Sie wurden darüber informiert, dass diese Faktoren ihre Entscheidungen beeinflusst haben könnten. In der Literatur gibt es Hinweise auf Einkommenseffekte bei intertemporalen Entscheidungen (Reimers, Maylor, Stewart, & Chater, 2009). Die Frage nach der Geldsuffizienz sollte als Schätzer der aktuellen finanziellen Situation dienen, die einen potentiellen Störfaktor darstellt (Wilbertz, van Elst, Delgado, Maier, Feige, Philippsen, & Blechert, 2012). Für die Angabe des Einkommens konnten sie anschließend an den TPQ, am Ende des Onlinefragebogens, ihre Einkommensspanne auf einer Skala von 1 bis 11 angeben (Spanne von kein Einkommen (Kategorie 1) bis über 4000€ (Kategorie 11); Kategorie 2: „weniger als 250€“; Kategorie 3: „250€ bis unter 500€“; ab Stufe 4: Fortführung in Schritten von 500€). Die Frage nach der Geldsuffizienz erfolgte mündlich nach Beendigung des Onlinefragebogens. Dabei wurde den Probanden die Möglichkeit gegeben, ihre Antwort auf die Frage, wie sie mit ihrem Geld zurechtkommen, in vier Kategorien einzuordnen („ich komme gerade so über die Runden“, „mittelmäßig“, „gut“, „sehr gut“). Diese Frage wurde mündlich gestellt, um freie Antworten mit zusätzlichen Details und Nachfragen zu ermöglichen, damit eine Zuordnung zu einer der Kategorien zuverlässiger erfolgen konnte.

4.1.1.2.1. Kalibrierungsverfahren

Bei dieser intertemporalen Entscheidungsaufgabe wurden die Probanden dazu instruiert, sich in insgesamt 56 Durchgängen jeweils zwischen zwei Optionen zu entscheiden. Die Optionen bestanden jeweils aus einem Geldbetrag und dazu einer Zeitangabe, wann dieser Betrag ausgezahlt wird. Bei der einen Option handelte es sich um einen fixen Geldbetrag in Höhe von 7€, der am selben Tag, also „heute“ verfügbar war (kleiner früher verfügbarer

Betrag; KFB). Bei der anderen Option handelte es sich um einen variablen Geldbetrag, der in der Regel größer war als der KFB und erst mit variabler zeitlicher Verzögerung verfügbar war (großer später verfügbarer Betrag; GSB). Die zeitliche Verzögerung des GSB wurde im Monats- und Wochenformat angegeben (Monat = m; Woche/n = w). Der Zeitraum des GSB variierte von einem Monat und zwei Wochen bis zu vier Monaten und zwei Wochen und zwar in Einwochen-Intervallen. Somit ergaben sich 13 verschiedene Zeiträume für den GSB (1m, 2w; 1m, 3w; 2m, 0w; 2m, 1w; 2m, 2w; 2m, 3w; 3m, 0w; 3m, 1w; 3m, 2w; 3m, 3w; 4m, 0w; 4m, 1w; 4m, 2w). Jeder GSB wurde dementsprechend vier- bis fünfmal wiederholt, um der Gesamtanzahl der Durchgänge zu entsprechen. Die GSB wurden mit den dazugehörigen Zeiträumen randomisiert dargeboten. Pro Durchgang hatten die Probanden maximal 6000 ms Zeit, sich für eine der beiden Alternativen zu entscheiden. Die Position der Optionen auf dem Bildschirm wurde ausbalanciert und pseudorandomisiert, sodass in der Hälfte der Durchgänge der GSB auf der linken und der KFB auf der rechten Seite vorkam. Nach jedem Entscheidungsdurchgang folgte ein Fixationskreuz (randomisierter Jitter zwischen 1500 und 2000 ms zur Sicherstellung der Aufmerksamkeit auf die Aufgabe), welches die Probanden betrachten sollten und welches das Ende des aktuellen Durchgangs bzw. den Beginn des nächsten Durchgangs signalisierte (Abbildung 12).

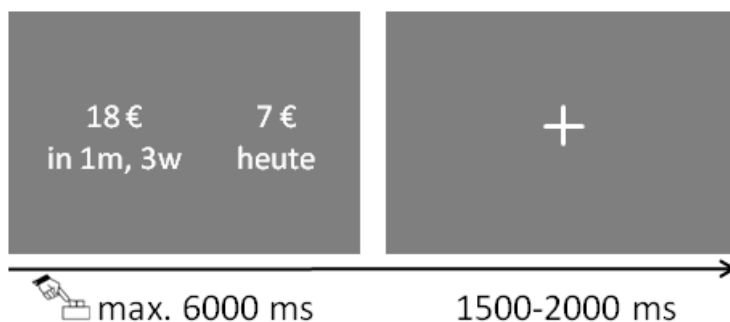


Abbildung 12. Kalibrierungsverfahren. Die Probanden sollten sich in jedem Durchgang zwischen einem früher und einem später verfügbaren Geldbetrag entscheiden (ITI: 1500-2000 ms).

Sobald eine Entscheidung per Tastendruck getroffen wurde, erschien unmittelbar das Fixationskreuz. Sofern keine Taste betätigt wurde, folgte das Fixationskreuz erst nach Ablauf der maximalen Entscheidungszeit (6000 ms). Die Festsetzung der GSB erfolgte nach einem Treppenstufenverfahren (van den Bos, Rodriguez, Schweitzer, & McClure, 2014). Dabei wurde die Höhe des GSB im Laufe des Kalibrierungsverfahrens derart adjustiert, dass der subjektive Wert des GSB zu dem subjektiven Wert des KFB konvergierte (geschätzter individueller Indifferenzpunkt). Der individuelle Indifferenzpunkt wurde jeweils anhand der geschätzten Diskontierungsrate k ermittelt. Angenommen wurde hierbei, dass zeitlicher Diskontierung eine hyperbolische Funktion zugrunde liegt (siehe Abschnitt 1.4):

$$\text{GSB} = \text{KFB} * (1 + k * \text{Verzögerung})$$

Die initiale Diskontierungsrate k (für den ersten Durchgang des Kalibrierungsverfahrens) wurde auf $k = 0.03$ festgesetzt (durchschnittlicher Wert aus der Literatur). Der Parameter k wurde erhöht, wenn der KFB gewählt wurde und verringert, wenn der GSB gewählt wurde. In den ersten 20 Durchgängen betrug der Schritt zur Veränderung von k immer 0.01. Nach den ersten 20 Durchgängen wurde dieser Schritt jeweils um 5% pro Durchgang reduziert (d.h. Durchgänge 1-20: Schritt = 0.01; Durchgang 21: Schritt = 0.0095; Durchgang 22: Schritt = 0.0090 usw.). Das nach dem letzten Durchgang resultierende k wurde als individuelle Diskontierungsrate für die Berechnung der Optionen für die nachfolgende intertemporale Entscheidungsaufgabe verwendet. Unabhängig vom dargestellten Treppenstufenverfahren wurden insgesamt vier Durchgänge in das Kalibrierungsverfahren integriert (einer in jedem Viertel der Aufgabe), bei denen der GSB kleiner war als der KFB (Fangdurchgänge). Damit sollte sichergestellt werden, dass die Aufgabe sorgfältig bearbeitet wird. Probanden, die sich bei den Fangdurchgängen drei- oder viermal für den GSB entschieden haben, wurden von der Untersuchung ausgeschlossen. Während eines Fangdurchgangs wurde immer das k des vorherigen Durchgangs übernommen, sodass die Fangdurchgänge nicht im Treppenstufenverfahren integriert waren. Die Probanden wurden instruiert, dass am Ende der Untersuchung eine ihrer getroffenen Entscheidungen per Zufall in einer Lotterie ausgewählt würde und dass sie den entsprechenden Geldbetrag dann zum jeweiligen Zeitpunkt ausgezahlt bekämen. Sie wurden darüber informiert, dass der KFB in bar und der GSB per Banküberweisung ausgezahlt würde (Luo, Ainslie, Pollini, Giragosian, & Monterosso, 2012; van den Bos et al., 2014).

4.1.1.2.2. Familiarisierung

Die Probanden wurden mit 28 graustufigen Fotos familiarisiert (Fenker et al., 2008; Wittmann et al., 2008). Jedes Foto stellte eine Szene in einem Gebäude oder im Freien dar. Für jede gezeigte Szene sollten Sie per Tastendruck angeben, ob sie in einem Gebäude oder im Freien aufgenommen wurde und dabei so schnell und so korrekt wie möglich reagieren, während die Szene präsentiert wurde (Bilderaufgabe). Die Tastenbelegung war über alle Probanden ausbalanciert (linke/rechte bzw. rechte/linke Taste für im Gebäude/im Freien bzw. im Freien/im Gebäude). Für ihre Reaktion hatten die Probanden 1000 ms Zeit. Pro Durchgang wurde ein Foto dargeboten und danach jeweils ein Fixationskreuz für ebenfalls 1000 ms (Abbildung 13).

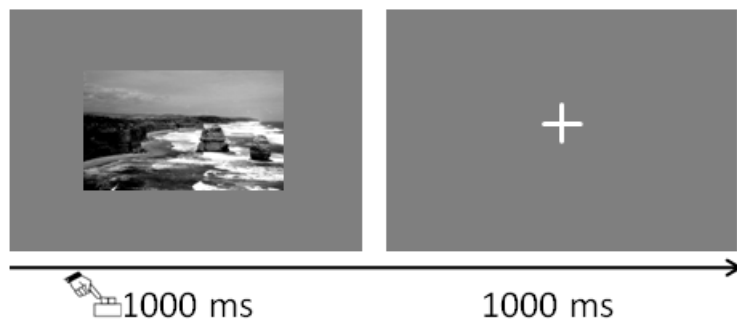


Abbildung 13. Familiarisierung. Die Probanden sollten in jedem Durchgang angeben, ob die dargestellte Szene in einem Gebäude oder im Freien aufgenommen wurde (ITI: 1000 ms).

Die 28 Fotos wurden insgesamt fünfmal randomisiert wiederholt. Sie wurden pseudorandomisiert aus einem Pool von 56 Fotos gezogen. Bei der Hälfte der Fotos handelte es sich um Szenen in einem Gebäude und bei der anderen Hälfte um Szenen im Freien. Die andere Hälfte der Fotos, die nicht für die Familiarisierung verwendet wurde, diente als neue Stimuli. Alle Fotos waren in Bezug auf Helligkeit und Kontrast angeglichen und auf eine Auflösung von 500 x 300 skaliert.

4.1.1.2.3. Entscheidungsphase

In dieser Phase sollten sich die Probanden in insgesamt 56 Durchgängen jeweils zwischen zwei Optionen entscheiden. Zu Beginn jedes Durchgangs sollten sie die Bilderaufgabe ausführen (siehe Abschnitt 4.1.1.2.2). Es wurde den Probanden entweder ein neues oder ein vertrautes graustufiges Foto dargeboten. Sie sollten innerhalb von 1000 ms per Tastendruck angeben, ob das Foto im Freien oder in einem Gebäude aufgenommen wurde. Bei der einen Hälfte der Fotos handelte es sich um neue (Neuheitsbedingung) und bei der anderen Hälfte um vertraute, also zuvor familiarisierte, Fotos (Vertrautheitsbedingung). Danach wurde für 500 ms ein Fixationskreuz präsentiert, woraufhin sich eine intertemporale Entscheidung anschloss. Die intertemporale Entscheidungsaufgabe entsprach der Aufgabe aus dem Kalibrierungsverfahren mit dem Unterschied, dass kein Treppenstufenverfahren mehr eingesetzt wurde, sondern die individuelle Diskontierungsrate k aus dem letzten Durchgang des Kalibrierungsverfahrens für diese Aufgabe genutzt wurde. Es gab wie bei der Kalibrierungsaufgabe vier Fangdurchgänge (siehe Abschnitt 4.1.1.2.1). Nach jeder Entscheidung (max. 6000 ms) folgte ein Fixationskreuz (1500-2000 ms) und es schloss sich der nächste Durchgang mit der Darbietung eines Fotos an (Abbildung 14).



Abbildung 14. Entscheidungsphase, Experiment 1. Den Probanden wurde in jedem Durchgang zunächst eine neue oder eine vertraute visuelle Szene präsentiert. Sie sollten dabei angeben, ob die dargestellte Szene in einem Gebäude oder im Freien aufgenommen wurde. Daraufhin (ISI: 500 ms) sollten sie eine intertemporale Entscheidung zwischen einem früher und einem später verfügbaren Geldbetrag treffen (ITI: 1500-2000 ms).

Die Entscheidungsoptionen waren bezüglich der Position auf dem Bildschirm (links/rechts) und hinsichtlich der Experimentalbedingungen ausbalanciert, d.h. die Entscheidungsoptionen waren in beiden Bedingungen identisch. Am Ende der Untersuchung wurde für jeden Probanden auch bei dieser Aufgabe eine Entscheidung per Zufall mittels einer Lotterie ausgewählt und der entsprechende Geldbetrag dann zum jeweiligen Zeitpunkt ausgezahlt. Demzufolge gab es am Ende der Untersuchung zwei Auslosungen, eine für das Kalibrierungsverfahren und eine für die intertemporale Entscheidungsaufgabe der Entscheidungsphase.

4.1.1.3. Datenanalyse

Im Rahmen der Vorverarbeitung der Rohdaten wurde für jeden Probanden die Anzahl der korrekten, inkorrekten und fehlenden Antworten bei der Bilderaufgabe (im Gebäude/im Freien; jeweils für die Familiarisierung und im Rahmen der anschließenden intertemporalen Entscheidungsaufgabe) pro Bedingung aggregiert und in Prozentwerte umgerechnet. Desgleichen wurden die Entscheidungen bei der intertemporalen Entscheidungsaufgabe in Prozentwerte umgerechnet. Für Reaktionszeiten wurde für jeden Probanden der Mittelwert pro Bedingung berechnet. Entscheidungen und Reaktionszeiten bei den Fangdurchgängen wurden nicht in die Datenanalyse einbezogen. Die Rohdaten wurden zunächst anhand des Programms Matlab aus den Logfiles extrahiert und daraufhin in Microsoft Excel (Microsoft Corporation, Office 2010) veranschaulicht. Die Statistiksoftwares SPSS (Version 21) und „Statistica“ (Version 12, StatSoft) wurden für die statistische Datenanalyse verwendet. Alle vorverarbeiteten Daten wurden im Hinblick auf Ausreißer untersucht. Als Kriterium wurde hierfür ein z-Wert ≥ 3 angesetzt. Die Voraussetzungen der berechneten statistischen Verfahren wurden jeweils überprüft (Field, 2013).

Sieben Probanden wurden von der Analyse ausgeschlossen, da sie sich extrem für den KFB (vier Probanden) oder extrem für den GSB (drei Probanden) entschieden haben (Wahl des

entsprechenden Betrags in $\geq 95\%$ der Fälle). Ein Proband wurde ausgeschlossen, da er sich bei den Fangdurchgängen dreimal für den GSB entschieden hat.

4.1.2. Experiment 2

4.1.2.1. Stichprobe

In Experiment 2 wurden insgesamt 36 gesunde, rechtshändige Probanden untersucht. Zehn Probanden wurden von der Analyse ausgeschlossen, da sie die Einschlusskriterien der Untersuchung nicht erfüllten (siehe Abschnitt 4.1.2.3). Es blieben somit 26 Probanden (mittleres Alter \pm SD: 25.3 \pm 3.2 Jahre, 16 Frauen) in der Stichprobe. Alle weiteren Details lassen sich der Stichprobenbeschreibung von Experiment 1 entnehmen (Abschnitt 4.1.1.1).

4.1.2.2. Versuchsablauf

Der Versuchsablauf deckt sich mit jenem aus Experiment 1 (siehe Abschnitt 4.1.1.2).

4.1.2.2.1. Entscheidungsphase

In dieser Phase sollten sich die Probanden in insgesamt 56 Durchgängen jeweils zwischen zwei intertemporalen Optionen entscheiden. Dabei handelte es sich um einen früher und einen später verfügbaren Geldbetrag. Die intertemporalen Entscheidungsoptionen entsprachen jenen aus der Entscheidungsphase von Experiment 1 (Abschnitt 4.1.1.2.3). Während die Optionen auf dem Bildschirm zu sehen waren und sich die Probanden entscheiden sollten, wurde ihnen entweder ein neues oder ein vertrautes graustufiges Foto im Hintergrund dargeboten. Bei der einen Hälfte der Fotos handelte es sich um neue (Neuheitsbedingung) und bei der anderen Hälfte um vertraute, also zuvor familiarisierte, Fotos (Vertrautheitsbedingung). Die Optionen waren in graue Rechtecke eingebettet, sodass sie trotz der Hintergrundfotos deutlich zu erkennen waren. Die Darstellungsgröße der Optionen wurde so angepasst, dass das Hintergrundbild möglichst wenig verdeckt war und die Optionen gleichzeitig groß genug waren, um mühelos gelesen werden zu können. Die Probanden wurden instruiert, dass die Fotos in keinem Zusammenhang zu den Optionen standen. Sie wurden darüber informiert, dass sie sie ansehen durften, sich aber hauptsächlich auf die Aufgabe der intertemporalen Entscheidungen konzentrieren sollten. Für diese Aufgabe wurde die individuelle Diskontierungsrate k aus dem letzten Durchgang des Kalibrierungsverfahrens genutzt. Es gab wie bei der Kalibrierungsaufgabe vier Fangdurchgänge (siehe Abschnitt 4.1.1.2.1). Nach jeder Entscheidung (max. 10000 ms) folgte ein Fixationskreuz (1500-2000 ms) und es schloss sich daraufhin der nächste Durchgang an (Abbildung 15).

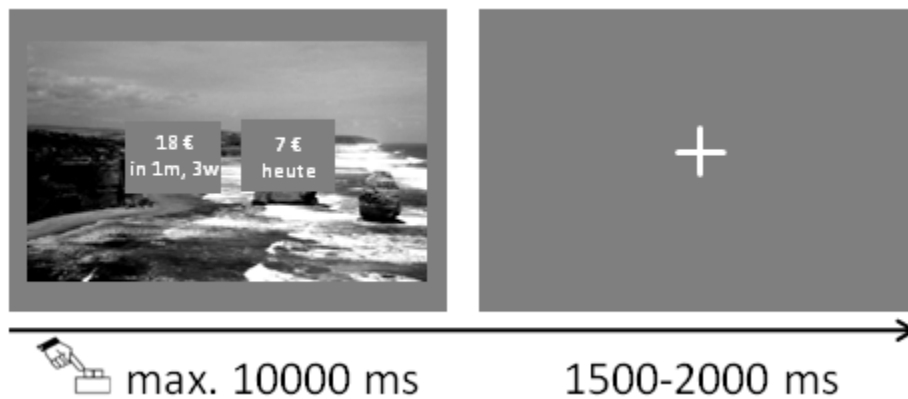


Abbildung 15. Entscheidungsphase, Experiment 2. Die Probanden sollten in jedem Durchgang eine intertemporale Entscheidung zwischen einem früher und einem später verfügbaren Geldbetrag treffen. Währenddessen wurde ihnen im Hintergrund eine entweder neue oder vertraute visuelle Szene dargeboten (ITI: 1500-2000 ms).

Im Vergleich zu Experiment 1 wurde die maximale Entscheidungszeit um 4000 ms erhöht, da die Fotos gleichzeitig mit der Darbietung der Optionen präsentiert wurden. Die Entscheidungsoptionen waren bezüglich der Position auf dem Bildschirm (links/rechts) und hinsichtlich der Experimentalbedingungen ausbalanciert, d.h. die Entscheidungsoptionen waren in beiden Bedingungen identisch. Am Ende der Untersuchung wurde für jeden Probanden auch bei dieser Aufgabe eine Entscheidung per Zufall mittels einer Lotterie ausgewählt und der entsprechende Geldbetrag dann zum jeweiligen Zeitpunkt ausgezahlt. Demzufolge gab es auch am Ende von Experiment 2 zwei Auslosungen, eine für das Kalibrierungsverfahren und eine für die eigentliche intertemporale Entscheidungsaufgabe.

4.1.2.3. Datenanalyse

Die grundlegende Vorgehensweise der Datenanalyse entsprach jener aus dem ersten Experiment (siehe Abschnitt 4.1.1.3).

Zehn Probanden wurden von der Analyse ausgeschlossen, da sie sich extrem für den KFB (sieben Probanden) oder extrem für den GSB (drei Probanden) entschieden haben (Wahl des entsprechenden Betrags in $\geq 95\%$ der Fälle).

4.2. Ergebnisse

4.2.1. Experiment 1

4.2.1.1. Bilderaufgabe

Die Bilderaufgabe wurde korrekt ausgeführt. Es gab insgesamt nur wenige inkorrekte oder fehlende Antworten (Tabelle 4). Aufgrund dessen kann davon ausgegangen werden, dass die Aufgaben aufmerksam bearbeitet wurden und die experimentellen Manipulationen somit prinzipiell eine Wirkung zeigen konnten.

Tabelle 4

Prozentualer Anteil korrekter, inkorrekt und fehlender Antworten in der Bilderaufgabe bei der Familiarisierung und der intertemporalen Entscheidungsaufgabe

	Familiarisierung		Intertemporale Entscheidungsaufgabe	
Korrekt	95.71 ± 1.42	88.57-99.29	92.86 ± 3.57	64.29-98.21
Inkorrekt	2.14 ± 0.72	0.71-6.43	1.79 ± 1.79	0-5.36
Fehlend	2.14 ± 1.43	0-7.86	5.36 ± 3.57	0-35.71

Angegeben sind Mediane ± MAD und die jeweilige Spannweite (Minimum-Maximum) in %.

Bei der Entscheidungsphase ergab sich kein Unterschied in Bezug auf die Anzahl der korrekten Durchgänge der Bilderaufgabe zwischen der Vertrautheitsbedingung (Median ± MAD in % = 92.86 ± 3.57) und der Neuheitsbedingung (Median ± MAD in % = 92.86 ± 3.57; $Z = -0.44$, $p = .661$, $r = -0.06$). Hingegen unterschieden sich die Reaktionszeiten der korrekt ausgeführten Durchgänge der Bilderaufgabe zwischen der Neuheits- und der Vertrautheitsbedingung ($t_{26} = 2.16$, $p = .041$, $d = 0.32$). Erwartungsgemäß entschieden sich die Probanden schneller in der Vertrautheitsbedingung (Mittelwert ± SEM in ms = 641.95 ± 9.11) im Vergleich zur Neuheitsbedingung (Mittelwert ± SEM in ms = 657.01 ± 8.73).

4.2.1.2. Entscheidungen

Die Hypothese, dass die Probanden den KFB in der Neuheitsbedingung häufiger wählen würden als in der Vertrautheitsbedingung, wurde anhand einer einfaktoriellen ANOVA für abhängige Stichproben mit dem Faktor Bedingung (neu/vertraut) und den Kovariaten Einkommen und Geldsuffizienz untersucht. Aufgrund der Verletzung der Normalverteilungsannahme wurde die Quadratwurzeltransformation auf die Entscheidungsdaten angewendet, wodurch diese Voraussetzung für parametrische

Testverfahren wieder erfüllt war. Hypothesenkonform entschieden sich die Probanden in der Neuheitsbedingung häufiger für den KFB (Median \pm MAD = 46.16 \pm 19.22; Spannweite = 7.7-96.16) im Vergleich zur Vertrautheitsbedingung (Median \pm MAD = 38.46 \pm 19.22; Spannweite = 3.84-100; $F_{1,24} = 7.43$, $p = .012$; Abbildung 16). Es wurden keine signifikanten Interaktionseffekte mit den Kovariaten gefunden (Bedingung x Einkommen: $F_{1,24} = 1.97$, $p = .173$; Bedingung x Geldsuffizienz: $F_{1,24} = 2.34$, $p = .139$).

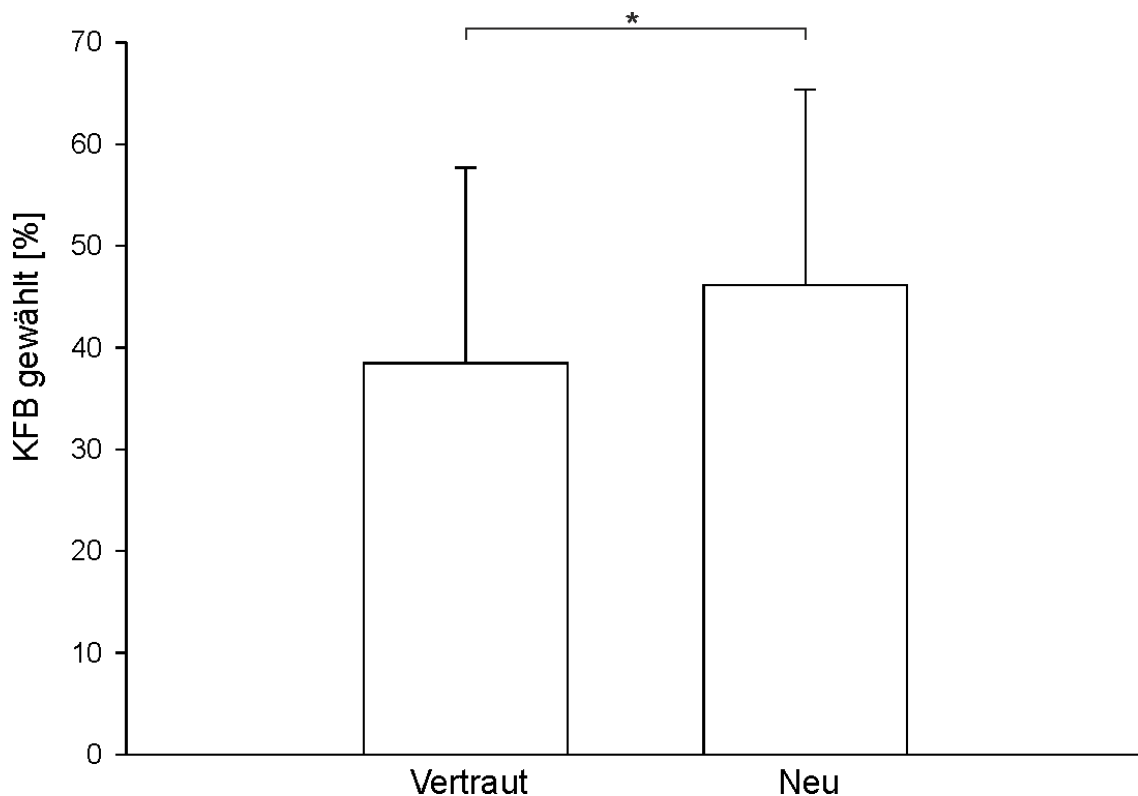


Abbildung 16. Ergebnisse der Entscheidungsphase, Experiment 1. Mediane der Entscheidungen für den KFB in den Neuheits- und Vertrautheitsbedingungen in %. Fehlerbalken geben die MAD an. Für die Prozentangaben wurde die Gesamtzahl aller Durchgänge pro Bedingung (Neu, Vertraut) abzüglich der Fangdurchgänge als Grundwert verwendet. * $p < .05$.

Das Einkommen der Probanden lag im Median in der Kategorie zwischen 250€ bis unter 500€ (Median \pm MAD = 3 \pm 1; Spannweite = 1-5) und die Geldsuffizienz wurde im Median als „mittelmäßig“ angegeben (Median \pm MAD = 2 \pm 1; Spannweite = 1-4).

Um zu testen, ob der Einfluss von Neuheit auf Entscheidungen für den KFB durch das Persönlichkeitsmerkmal Streben nach Neuheit vorhergesagt werden kann, wurde eine lineare Regressionsanalyse angewendet. Als abhängige Variable dienten individuelle Differenzen bei Entscheidungen für den KFB zwischen Neuheit und Vertrautheit (Prozentwerte KFB-Neu – Prozentwerte KFB-Vertraut = Δ -KFB). Als unabhängige Variablen wurden die erste Facette des Merkmals Streben nach Neuheit, die Explorative Erregbarkeit,

sowie die Kontrollvariablen Einkommen und Geldsuffizienz in die Analyse einbezogen. Die Facette Explorative Erregbarkeit wurde verwendet, da sie die für die vorliegende Studie relevante Form des Strebens nach Neuheit am besten repräsentiert. Tabelle 5 gibt einen Überblick über die Verteilung des Merkmals Explorative Erregbarkeit.

Aus der Regressionsanalyse resultierten keine signifikanten Prädiktoren (Explorative Erregbarkeit: $B \pm SE = 0.96 \pm 0.67$, $\beta = 0.27$, $p = .173$; Einkommen: $B \pm SE = -1.36 \pm 1.16$, $\beta = -0.22$, $p = .253$; Geldsuffizienz: $B \pm SE = -1.95 \pm 1.49$, $\beta = -0.25$, $p = .204$). Die Hypothese, dass der Einfluss von Neuheit auf Entscheidungen für den KFB durch das Persönlichkeitsmerkmal Streben nach Neuheit vorhergesagt werden kann, musste demzufolge abgelehnt werden.

Tabelle 5

Deskriptive Statistiken des Persönlichkeitsmerkmals Explorative Erregbarkeit in Experiment 1

Explorative Erregbarkeit		
Gesamt	6.73 ± 0.41	3-11
Hoch	8.38 ± 0.35	7-11
Niedrig	5.08 ± 0.35	3-7

Angegeben sind Mittelwerte \pm SEM und die jeweilige Spannweite (Minimum-Maximum) der Rohdaten. Für die Explorative Erregbarkeit sind neben den Gesamtwerten über alle Probanden (Gesamt) die anhand eines Mediansplits ermittelten Werte für Personen mit hoher (Hoch) und niedriger Ausprägung (Niedrig) bei diesem Merkmal angegeben. Maximal mögliche Spannweite der Explorativen Erregbarkeit = 0-11.

4.2.1.3. Reaktionszeiten

Im nächsten Schritt wurden die Reaktionszeiten analysiert. Hierfür wurde ein Proband ausgeschlossen, da er in der Vertrautheitsbedingung in keinem Durchgang den GSB gewählt hat und somit für diesen Probanden keine Reaktionszeiten in dieser Bedingung vorlagen. Tabelle 6 gibt einen Überblick über die Reaktionszeiten (ms) in den einzelnen Experimentalbedingungen.

Tabelle 6

Deskriptive Statistiken der Reaktionszeiten (ms) in Experiment 1

	Gesamt	EE-hoch	EE-niedrig
KFB-Neu	1193.58 ± 202.05	1225.65 ± 90.31	1075 ± 326.4
KFB-Vertraut	1231.79 ± 362.15	1243.7 ± 254.7	1098.5 ± 362
GSB-Neu	1223 ± 328.66	1272.22 ± 261.67	1021.62 ± 313.62
GSB-Vertraut	1193.56 ± 241.59	1283.69 ± 151.05	970.44 ± 284.16

Angegeben sind Mediane ± MAD für alle Probanden (Gesamt) und für Probanden mit einer hohen (EE-hoch) und niedrigen (EE-niedrig) Ausprägung bei der Explorativen Erregbarkeit.

Aufgrund der Verletzung der Normalverteilungsannahme wurden die Reaktionszeiten logarithmiert, wodurch diese Voraussetzung für parametrische Testverfahren wieder erfüllt war. Für die Analyse wurde ein Mediansplit anhand des Merkmals der Explorativen Erregbarkeit vollzogen. Aus einer 2x2x2 ANOVA mit den Innersubjektfaktoren Bedingung (neu/vertraut) und Entscheidung (KFB/GSB), dem Zwischensubjektfaktor Explorative Erregbarkeit (hoch/niedrig) und den Kovariaten Einkommen und Geldsuffizienz resultierten keine signifikanten Ergebnisse, weder bei den Innersubjektfaktoren (Bedingung: $F_{1,22} = 1.72$, $p = .203$; Entscheidung: $F_{1,22} = 0.92$, $p = .348$; Bedingung x Entscheidung: $F_{1,22} = 0.22$, $p = .641$), noch in Verbindung mit dem Zwischensubjektfaktor (Bedingung x Explorative Erregbarkeit: $F_{1,22} = 0.26$, $p = .616$; Entscheidung x Explorative Erregbarkeit: $F_{1,22} = 2.66$, $p = .117$; Bedingung x Entscheidung x Explorative Erregbarkeit: $F_{1,22} = 0.14$, $p = .717$). Demnach unterschieden sich die Reaktionszeiten bei der Wahl der Optionen nicht zwischen der Vertrautheits- und Neuheitsbedingung und es bestand auch kein Unterschied in den Reaktionszeiten für den KFB zwischen Personen mit einer hohen Ausprägung beim Merkmal Streben nach Neuheit in der Neuheitsbedingung (Median ± MAD = 1225.65 ± 90.31) im Vergleich zur Vertrautheitsbedingung (Median ± MAD = 1243.70 ± 254.7). Die Hypothesen, dass sich Personen im Allgemeinen und insbesondere stark Neuheitsstrebende in der

Neuheitsbedingung schneller als in der Vertrautheitsbedingung für den KFB entscheiden würden, mussten also abgelehnt werden.

4.2.2. Experiment 2

4.2.2.1. Bilderaufgabe

Die Bilderaufgabe wurde korrekt ausgeführt. Es gab insgesamt nur wenige inkorrekte oder fehlende Antworten (Tabelle 7). Aufgrund dessen kann angenommen werden, dass die Aufgaben aufmerksam bearbeitet wurden und die experimentellen Manipulationen somit prinzipiell eine Wirkung zeigen konnten.

Tabelle 7

Prozentualer Anteil korrekter, inkorrekt und fehlender Antworten in der Bilderaufgabe bei der Familiarisierung von Experiment 2

	Familiarisierung	
Korrekt	97.14 ± 1.43	90.71-99.29
Inkorrekt	2.14 ± 0.72	0-7.14
Fehlend	1.79 ± 1.08	0-5

Angegeben sind Mediane ± MAD und die jeweilige Spannweite (Minimum-Maximum) in %.

4.2.2.2. Entscheidungen

Die Hypothese, dass die Probanden den KFB in der Neuheitsbedingung häufiger wählen würden als in der Vertrautheitsbedingung, konnte nicht bestätigt werden (Abbildung 17). Eine einfaktorielle ANOVA für abhängige Stichproben mit dem Faktor Bedingung (neu/vertraut) und den Kovariaten Einkommen und Geldsuffizienz ergab keine signifikanten Effekte (Bedingung: $F_{1,23} = 0.27$, $p = .607$; Bedingung x Einkommen: $F_{1,23} = 1.12$, $p = .301$; Bedingung x Geldsuffizienz: $F_{1,23} = 3.84$, $p = .062$). Im Mittel entschieden sich die Probanden meistens für den GSB (Entscheidungen für den KFB in der Neuheitsbedingung: Mittelwert ± SEM = 42.60 ± 4.2; Spannweite = 7.69-84.62; Entscheidungen für den KFB in der Vertrautheitsbedingung: Mittelwert ± SEM = 42.75 ± 4.58; Spannweite = 3.85-84.62).

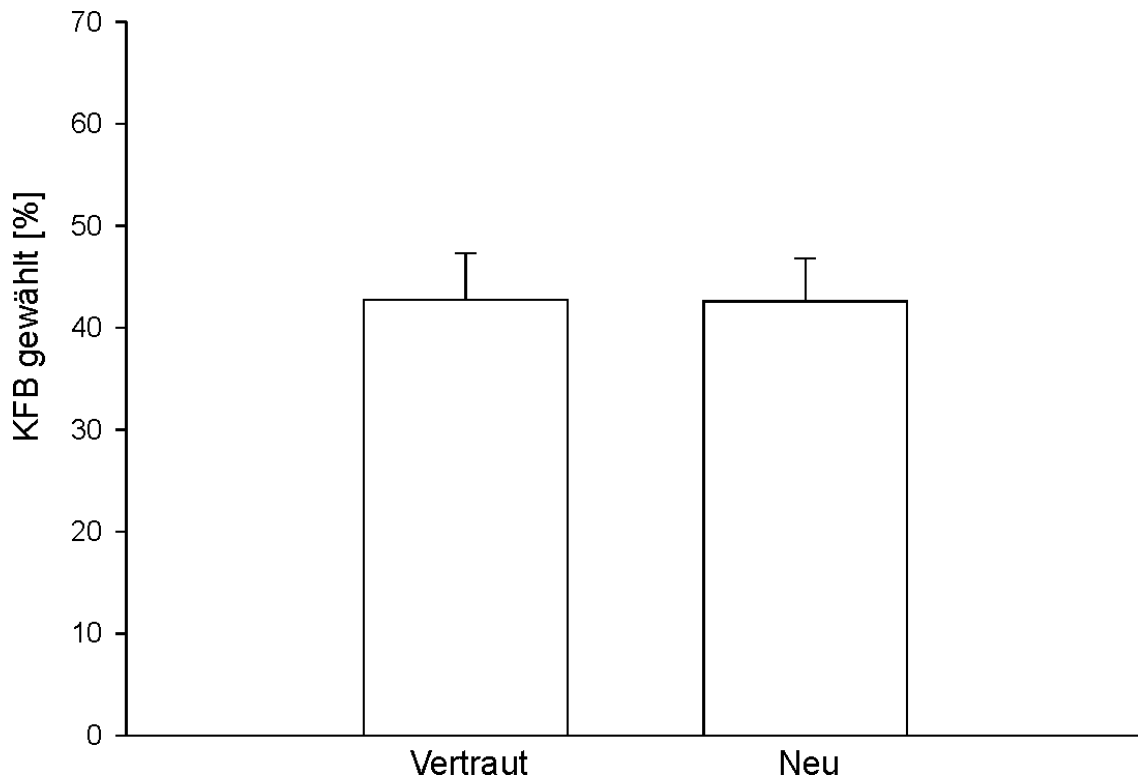


Abbildung 17. Ergebnisse der Entscheidungsphase, Experiment 2. Mittelwerte der Entscheidungen für den KFB in den Neuheits- und Vertrautheitsbedingungen in %. Fehlerbalken geben den SEM an. Für die Prozentangaben wurde die Gesamtzahl aller Durchgänge pro Bedingung (Neu, Vertraut) abzüglich der Fangdurchgänge als Grundwert verwendet.

Das Einkommen der Probanden lag im Median in der Kategorie zwischen 250€ bis unter 500€ (Median \pm MAD = 3 ± 1 ; Spannweite = 1-4) und die Geldsuffizienz wurde im Median als „gut“ angegeben (Median \pm MAD = 3 ± 0.5 ; Spannweite = 1-4).

Es wurde weiterhin überprüft, ob der Einfluss von Neuheit auf Entscheidungen für den KFB durch das Persönlichkeitsmerkmal Streben nach Neuheit vorhergesagt werden kann. Dazu wurde eine lineare Regressionsanalyse angewendet. Als abhängige Variable diente Δ -KFB und als unabhängige Variablen wurden die Explorative Erregbarkeit sowie die Kontrollvariablen Einkommen und Geldsuffizienz in die Analyse einbezogen. Tabelle 8 gibt einen Überblick über die Verteilung des Merkmals Explorative Erregbarkeit.

Tabelle 8

Deskriptive Statistiken des Persönlichkeitsmerkmals Explorative Erregbarkeit in Experiment 2

Explorative Erregbarkeit		
Gesamt	8.5 ± 2.5	3-11
Hoch	9 ± 0	9-11
Niedrig	5 ± 1	3-8

Angegeben sind Mediane ± MAD und die jeweilige Spannweite (Minimum-Maximum) der Rohdaten. Für die Explorative Erregbarkeit sind neben den Gesamtwerten über alle Probanden (Gesamt) die anhand eines Mediansplits ermittelten Werte für Personen mit hoher (Hoch) und niedriger Ausprägung (Niedrig) bei diesem Merkmal angegeben. Maximal mögliche Spannweite der Explorativen Erregbarkeit = 0-11.

Aus der Regressionsanalyse resultierten keine signifikanten Prädiktoren (Explorative Erregbarkeit: $B \pm SE = 0.30 \pm 0.41$, $\beta = 0.14$, $p = .477$; Einkommen: $B \pm SE = -1.15 \pm 1.00$, $\beta = -0.22$, $p = .262$; Geldsuffizienz: $B \pm SE = 2.08 \pm 1.14$, $\beta = 0.35$, $p = .083$). Die Hypothese, dass der Einfluss von Neuheit auf Entscheidungen für den KFB durch das Persönlichkeitsmerkmal Streben nach Neuheit vorhergesagt werden kann, musste demnach abgelehnt werden.

4.2.2.3. Reaktionszeiten

Im nächsten Schritt wurden die Reaktionszeiten analysiert. Tabelle 9 gibt einen Überblick über die Reaktionszeiten (ms) in den einzelnen Experimentalbedingungen.

Tabelle 9

Deskriptive Statistiken der Reaktionszeiten (ms) in Experiment 2

	Gesamt	EE-hoch	EE-niedrig
KFB-Neu	1543.37 ± 474.05	1780.86 ± 541.52	1321.2 ± 335.73
KFB-Vertraut	1501.12 ± 447.57	1911.58 ± 674.58	1377 ± 292.67
GSB-Neu	1366.67 ± 290.34	1853 ± 506.92	1249.2 ± 149.18
GSB-Vertraut	1676.45 ± 566.13	1818.84 ± 642.09	1280 ± 273.38

Angegeben sind Mediane ± MAD für alle Probanden (Gesamt) und für Probanden mit einer hohen (EE-hoch) und niedrigen (EE-niedrig) Ausprägung bei der Explorativen Erregbarkeit.

Aufgrund der Verletzung der Normalverteilungsannahme wurden die Reaktionszeiten logarithmiert, wodurch diese Voraussetzung für parametrische Testverfahren wieder erfüllt war. Für die Analyse wurde ein Mediansplit anhand des Merkmals der Explorativen Erregbarkeit vollzogen. Aus einer 2x2x2 ANOVA mit den Innersubjektfaktoren Bedingung (neu/vertraut) und Entscheidung (KFB/GSB), dem Zwischensubjektfaktor Explorative Erregbarkeit (hoch/niedrig) und den Kovariaten Einkommen und Geldsuffizienz resultierten keine signifikanten Ergebnisse bei den Innersubjektfaktoren (Bedingung: $F_{1,22} = 0.01$, $p = .912$; Entscheidung: $F_{1,22} = 0.83$, $p = .371$; Bedingung x Entscheidung: $F_{1,22} = 1.41$, $p = .247$), und keine mit dem Zwischensubjektfaktor (Bedingung x Explorative Erregbarkeit: $F_{1,22} = 0.93$, $p = .346$; Entscheidung x Explorative Erregbarkeit: $F_{1,22} = 0.05$, $p = .827$). Allerdings ergab sich eine signifikante Dreifachinteraktion zwischen der Bedingung, der Entscheidung und der Explorativen Erregbarkeit ($F_{1,22} = 5.14$, $p = .034$).

Es wurden Newman-Keuls Post-hoc-Tests durchgeführt, um zu überprüfen, zwischen welchen Faktorstufen der signifikanten Interaktion Unterschiede bestanden. Es zeigte sich, dass sich Personen mit einer hohen Ausprägung beim Merkmal Streben nach Neuheit schneller für den KFB in der Neuheitsbedingung im Vergleich zur Vertrautheitsbedingung entschieden ($p = .041$). Es ergab sich kein Unterschied zwischen den Bedingungen im Hinblick auf die Reaktionszeiten für den KFB bei Personen mit einer niedrigen Ausprägung beim Merkmal Streben nach Neuheit ($p = .856$; Abbildung 18).

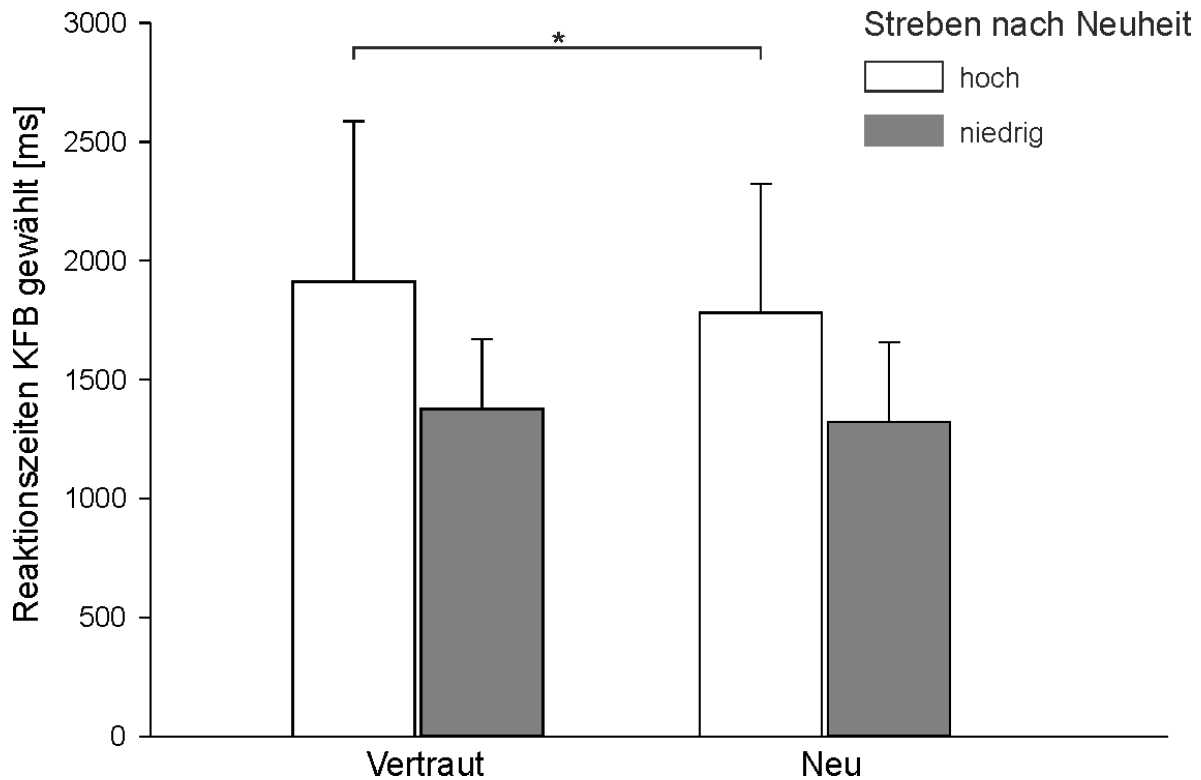


Abbildung 18. Ergebnisse der Entscheidungsphase, Experiment 2. Mediane der Reaktionszeiten (ms) bei Entscheidungen von hoch und niedrig Neuheitsstrebenden für den KFB in den Neuheits- und Vertrautheitsbedingungen. Fehlerbalken geben die MAD an. $*p < .05$.

Die Hypothese, dass sich Personen allgemein in der Neuheitsbedingung schneller als in der Vertrautheitsbedingung für den KFB entscheiden würden, musste abgelehnt werden. Hingegen konnte die Hypothese gestützt werden, bei der dieser Effekt für stark Neuheitsstrebende angenommen wurde.

5. Diskussion

5.1. Studie 1 – Langeweileantizipation bei Kaufentscheidungen

Studie 1 liefert Hinweise auf einen neuronalen Mechanismus, der dem Drang, Langeweile zu vermeiden, zugrunde liegen könnte. Über vorherige Studien hinausgehend, die einen durch den Zustand der Langeweile induzierten Einfluss auf das Kaufverhalten nachwiesen, zeigt die vorliegende Untersuchung, dass die reine Antizipation, eine langweilige Aufgabe ausführen zu müssen, Musikkäufe bereits stark beeinflusst. Die fMRT-Ergebnisse zeigen, dass Entscheidungen, Langeweile durch den Kauf einer Freizeitaktivität zu vermeiden, mit Aktivierungen im Nucleus caudatus assoziiert sind und dass Probanden, die höhere Preise zur Langeweilevermeidung akzeptierten, eine erhöhte Insula-Aktivität hatten, wenn sie die langweilige Aufgabe gewählt haben. Diese Ergebnisse stehen im Einklang mit vorherigen Befunden zur Beteiligung der Insula an Langeweile (Danckert & Merrifield, 2016; Mathiak et al., 2013). Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Antizipation von Langeweile Effekte bei Kaufentscheidungen hat, die durch das dopaminerge System vermittelt werden könnten und Menschen zu abwechslungsreichen und interessanten Erfahrungen treiben.

Entscheidungen werden nicht ausschließlich durch aktuelle internale Zustände beeinflusst, sondern spiegeln auch die Erwartung zukünftiger Erfahrungen wider. Frühere Untersuchungen demonstrierten, dass der Zustand der Langeweile Coping-Mechanismen wie emotionales Essen (Koball et al., 2012; Moynihan et al., 2015), impulsives Einkaufen (Dittmar & Drury, 2000; Geuens et al., 2004) und Musikhören (Mitchell et al., 2007; North et al., 2000) auslöst. In diesen Untersuchungen wurden die ausgedehnten Verhaltenseffekte der Langeweile möglicherweise zum Teil durch implizite Einflüsse aufgrund negativer Stimmungen oder negativer Emotionen verursacht. Eine niedergedrückte Stimmungslage und negative Emotionen können ökonomisches Entscheidungsverhalten in verschiedenen Situationen beeinflussen (Lerner, Small, & Loewenstein, 2004). Beispielsweise haben traurige Menschen eine verringerte Akzeptanz für unfaire Angebote (Harle & Sanfey, 2007) und geben unter bestimmten Bedingungen mehr Geld aus (Cryder, Lerner, Gross, & Dahl, 2008). Im Gegensatz dazu wurde in Studie 1 die Stimmung nicht während der Entscheidungsphase manipuliert. Stattdessen spiegelten die Entscheidungen der Probanden in jedem Durchgang die Erwartung bevorstehender Erfahrungen wider. Einschätzungen über zukünftige internale Zustände könnten einen starken Einfluss auf Entscheidungen haben, da Menschen ihre affektiven Reaktionen auf positive (Wilson, Wheatley, Meyers, Gilbert, & Axsom, 2000) und negative (Gilbert, Pinel, Wilson, Blumberg, & Wheatley, 1998) zukünftige Ereignisse überschätzen, selbst bei stark vertrauten Ereignissen (Meyvis, Ratner, & Levav, 2010; Van Boven & Ashworth, 2007). Diese Einschätzungen zukünftiger Affekte (Mellers, Schwartz, & Ritov, 1999; Mellers, Schwartz, Ho, & Ritov, 1997) und damit assoziierte

Emotionen, die zum Zeitpunkt der Entscheidung verspürt werden (Gilbert, Gill, & Wilson, 2002; Pham, 1998), tragen zu Konsumentenentscheidungen bei (siehe auch Alba & Williams, 2013; Holbrook & Hirschman, 1982). In Studie 1 wurde untersucht, wie sich zielgerichtetes Kaufverhalten basierend auf dem antizipierten zukünftigen Zustand der Langeweile von Durchgang zu Durchgang verändert. Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass Menschen dazu bereit sind, erheblich mehr zu bezahlen, um einen antizipierten zukünftigen Zustand der Langeweile im Vergleich zur Durchführung anderer Aufgaben zu vermeiden. Dieser Effekt war langeweilespezifisch, da kein Einfluss der anderen Aufgabenratings (Interesse, Anstrengung, Angenehmheit) auf die Musikpreise vorhanden war. Deshalb kann angenommen werden, dass die Antizipation einer negativen Stimmungslage die Entscheidungen in Studie 1 nicht getrieben hat. Die Bereitschaft, den antizipierten Zustand der Langeweile trotz erhöhter Kosten zu vermeiden, steht im Einklang mit dem Befund, dass sich Personen sogar Elektroschocks verabreichen, um dem aversiven Zustand der Langeweile zu entkommen (Havermans et al., 2015; Nederkoorn et al., 2016).

Eine frühere Studie hat gezeigt, dass die Erfahrung der Langeweile folgende fünf Faktoren erster Ordnung beinhaltet: Disengagement, hohes Arousal, niedriges Arousal, Unaufmerksamkeit und veränderte Zeitwahrnehmung (Fahlman et al., 2013). Zusätzlich wurde ein übergeordneter allgemeiner Langeweilefaktor ermittelt (Fahlman et al., 2013). Die vorliegenden Ergebnisse spiegeln die allgemeine Erfahrung von Langeweile wider, die mit den Aufgaben assoziiert ist. In Bezug auf die Leistung bei der Langeweileaufgabe gab es einen Deckeneffekt, sodass es als unwahrscheinlich erscheint, dass die motivationalen Effekte der Langeweile durch Unaufmerksamkeit bedingt waren. Im Gegensatz dazu enthält die Skala zur Dimension Disengagement mehrere Items, die sich auf den Wunsch beziehen, anregendere Aktivitäten auszuüben. Deshalb könnte diese Dimension den motivationalen Drang erfassen, der mit Langeweile und deren Antizipation verbunden ist. Diese Interpretation wird durch die Ergebnisse der anderen Aufgabenratings gestützt, die die Kaufentscheidungen nicht beeinflusst haben. Das steht im Einklang damit, dass erhöhte Aufgabenanforderungen (Anstrengung), Interesse und positive Emotionen nicht in eine neu validierte Kurzform der MSBS integriert sind, die zur Erhebung experimentell induzierter Langeweile dient (Hunter et al., 2015). Es ist noch weitere Forschung nötig, um den Einfluss des Faktors Disengagement genauer zu untersuchen und die Beteiligung der anderen Langeweilefaktoren erster Ordnung im Rahmen langeweilebezogener Motivation zu analysieren. Insgesamt erweitern die vorliegenden Ergebnisse zum übergeordneten allgemeinen Langeweilefaktor die Befunde vorheriger Forschung zu Faktoren, die an zielgerichtetem Entscheidungsverhalten beteiligt sind, wie z.B. antizipierte Anstrengung oder antizipierter Schmerz (Croxson, Walton, O'Reilly, Behrens, & Rushworth, 2009; Talmi, Dayan, Kiebel, Frith, & Dolan, 2009). Aus der Erforschung der Antizipation des zukünftigen

affektiv-motivationalen Zustands der Langeweile ergab sich ein zusätzlicher Faktor, der die Berechnung von Optionswerten beeinflusst. Damit erweitert diese Studie die ökonomische Forschung zu Konsumentenentscheidungen und lässt sich in ein Rahmenkonzept einordnen, das die Bedeutung erfahrungsbezogener Aspekte bei Konsumentenentscheidungen hervorhebt (Holbrook & Hirschman, 1982). In diesem Kontext stehen die vorliegenden Ergebnisse zur Bedeutsamkeit des antizipierten affektiv-motivationalen Zustands der Langeweile bei Kaufentscheidungen im Einklang mit anderen aktuellen Untersuchungen, in denen sich ergab, dass Konsumentenentscheidungen von antizipierten positiven und negativen Emotionen determiniert werden (Bagozzi, Belanche, Casaló, & Flavián, 2016).

Auch wenn die erhobenen Persönlichkeitseigenschaften die Aufgabenratings in der untersuchten Stichprobe nicht beeinflussten, war Boredom Proneness in der größeren Verhaltensstichprobe, die die Stichprobe der vorliegenden Untersuchung mit einschloss, ein signifikanter Prädiktor für die Langweileratings. Dieses Ergebnis steht mit vorherigen Befunden im Einklang, dass Boredom Proneness mit Werten auf der MSBS korreliert (Fahlman et al., 2013; Mercer-Lynn et al., 2013). Es stützt weiterhin die Validität der BPS (für einen Vergleich verfügbarer Maße für Langeweile siehe Vodanovich & Watt, 2016). Dass in der vorliegenden Stichprobe keine Persönlichkeitseffekte gefunden wurden, könnte an der - für die Untersuchung von Persönlichkeitseffekten - relativ geringen Stichprobengröße liegen. Allerdings wurde in dieser Stichprobe - trotz ihrer Größe - gefunden, dass individuelle Differenzen in den Langweileratings Variationen in den Musikpreisen vorhersagen. Daher ist es möglich, dass die motivationalen Effekte der Langeweile auf Entscheidungen eher auf Differenzen im Zustand der Langeweile als auf Differenzen in der Persönlichkeitseigenschaft der Empfänglichkeit für Langeweile zurückzuführen sind.

Die Ergebnisse legen den Schluss nahe, dass der Drang, Langeweile zu vermeiden, durch Aktivität im dopaminergen System repräsentiert wird. Aktivierungen im Nucleus caudatus repräsentierten die Interaktion zwischen der Aufgabenbedingung und der Entscheidung, welche durch erhöhte Aktivierungen für Entscheidungen getrieben wurde, die Langeweileaufgabe zu vermeiden. Diese Ergebnisse sind mit Befunden aus Experimenten an Menschen und anderen Lebewesen konsistent, bei denen die vermittelnde Rolle des dorsomedialen Striatums bei zielgerichteten Entscheidungen nachgewiesen wurde (Balleine & O'Doherty, 2009). Es wurde gezeigt, dass Aktivierungen im Nucleus caudatus mit dem erwarteten Wert von Handlungen in einer strategischen Investmentaufgabe korrelieren (Tobia, Guo, Schwarze, Boehmer, Gläscher, Finckh, Marschner, Büchel, Obermayer, & Sommer, 2014). Weiterhin repräsentiert der Nucleus caudatus die Werte zukünftiger Optionen während der Planung (Wunderlich et al., 2012) und sagt während der Ausführung von Handlungen deren Ergebnisse vorher (McNamee, Liljeholm, Zika, & O'Doherty, 2015).

Die aktuelle Untersuchung erweitert diese Befunde, indem sie nahelegt, dass der Nucleus caudatus den Abwägungsprozess zwischen dem negativen Wert eines zukünftigen aversiven Zustands gegenüber den Kosten der Wahl alternativer Optionen repräsentiert.

Zielgerichtetes Entscheidungsverhalten erfordert die Integration verfügbarer Belohnungen und Kosten. Bei der vorliegenden Untersuchung umfasste der Vergleich der beiden Optionen pro Durchgang die Integration des Aufgabenwerts, des Musikwerts und des Musikpreises. Die Musikooptionen wurden so ausgewählt, dass sie als Belohnung mit konstant moderatem Wert dienten, basierend auf den individuellen Präferenzen der Probanden. Da jedes Musikstück als Option alternativ zu jeder der drei Aufgaben präsentiert wurde, bildeten Unterschiede im Musikpreis über die Bedingungen einen Index des relativen Werts pro Aufgabe. Aktivierungsunterschiede könnten deshalb zum Teil Belohnungsantizipation verbunden mit der höher bewerteten Option widerspiegeln. Allerdings können die Ergebnisse dieser Studie nicht ausschließlich mit Wertekodierung erklärt werden, da die Caudatus-Aktivität nicht durch Entscheidungen für Musik in der Kontrollbedingung erhöht wurde - trotz der Bereitschaft der Probanden, auch in diesen Durchgängen Geld für Musik auszugeben. Hingegen scheint die Caudatus-Aktivität spezifisch durch Langeweilevermeidung bedingt zu sein. Diese Interpretation ist mit aktuellen Befunden vereinbar, die besagen, dass der Nucleus caudatus an der Integration von Annäherungs- und Vermeidungstendenzen bei Entscheidungskonflikten mit appetitiven oder aversiven emotionalen Auswirkungen beteiligt ist (Aupperle, Melrose, Francisco, Paulus, & Stein, 2015). Diese konfliktbezogene Caudatus-Aktivierung war bei solchen Probanden höher, die ein stärkeres Vermeidungsverhalten zeigten, was für eine Rolle des dorsomedialen Striatums in konfliktverbundenem Entscheidungsverhalten spricht. Auch wenn in der vorliegenden Studie nicht zwischen Aktivierungen auf der Basis einzelner Durchgänge anhand von Annäherungs- und Vermeidungsentscheidungen differenziert wurde, passen die Ergebnisse zu der Annahme, dass der Nucleus caudatus Vermeidungsentscheidungen auf Kosten von Belohnungsverzicht (Aupperle et al., 2015) bzw. (in der vorliegenden Untersuchung) auf Kosten höherer zu zahlender Preise vermittelt. Dieser Konflikt zwischen Langeweilevermeidung und dem Akzeptieren höherer Kosten könnte auch der Grund dafür sein, dass die Probanden mehr Zeit benötigten, um sich im Angesicht antizipierter Langeweile zu entscheiden. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, dass die Caudatus-Aktivierung einen gegenüber vorherigen Entscheidungsdurchgängen relativ erhöhten Belohnungswert der gewählten Musikooptionen in der Langeweilebedingung widerspiegelt. Der Nucleus caudatus könnte in jedem Durchgang den Wert der Langeweileoption mit dem Wert der Musikooption kontrastiert haben, wodurch der Belohnungswert der Musikooption im Verhältnis zu jenem der Langeweileoption als relativ erhöht wahrgenommen wurde, gegenüber dem zuvor berechneten Belohnungswert dieser Musikooption im Verhältnis zu

jenem der Kontrolloption (Suche und/oder Bewertung). Im Verhältnis zur Kontrolloption war die Musik möglicherweise weniger belohnend als im Verhältnis zur Langeweileoption. Der Unterschied des Werts der Musikooption in den Langeweiledurchgängen zu dem in den Kontrolldurchgängen (und damit einhergehend der Unterschied bei den Präferenzen) könnte möglicherweise auf eine ähnliche Weise durch den Nucleus caudatus vermittelt worden sein wie bei einer Untersuchung von Sharot, De Martino und Dolan (2009), bei der der Nucleus caudatus durch Entscheidungen hervorgerufene Präferenzänderungen repräsentierte.

Zum Hauptergebnis, dass der Nucleus caudatus durch Langeweilevermeidung aktiviert wird, lässt sich diskutieren, inwieweit die Selbstkontrolle als moderierender Faktor wirkt. Im Modell von Inzlicht und Schmeichel (2012) reduziert die Ausübung von Selbstkontrolle zum Zeitpunkt 1 die Selbstkontrolle zum Zeitpunkt 2, was zu impulsiveren Handlungen und erhöhter Sensitivität für belohnungsbezogene Hinweisreize zum Zeitpunkt 2 führt. Angenommen bei dem Zeitpunkt 1 handelt es sich, bezogen auf Studie 1, um die Durchführung der Langeweileaufgabe im Aufgabenblock. Bei der Langeweileerfahrung wurde der LPFC gefunden, der mit Selbstkontrolle assoziiert ist (Figner et al., 2010; Miller, 2000). Bei Zeitpunkt 2 könnte es sich um die Entscheidungsaufgabe handeln, bei der die Interaktion im Nucleus caudatus gefunden wurde. Bei dieser Aufgabe sollten Entscheidungen für Musik in Langeweiledurchgängen die geringste Selbstkontrolle erfordern (auch im Vergleich zu den Durchgängen mit den Kontrollaufgaben) und in den Musikdurchgängen mit den beiden Kontrollaufgaben könnten die Entscheidungen für die Kontrollen eine geringe Selbstkontrolle erfordern (aufgrund des Musikpreises und der positiven Bewertungen der Kontrollaufgaben). Nach dem Modell von Inzlicht und Schmeichel (2012) könnten aufgrund fehlender Selbstkontrolle die Entscheidungen zu Gunsten dieser Optionen ausgefallen sein, die eine geringere Selbstkontrolle erfordern. Sofern die dargestellte Rangreihe zum Ausmaß der erforderlichen Selbstkontrolle stimmt, entspricht die Caudatusinteraktion diesem Muster und somit könnte der Nucleus caudatus durch reduzierte Selbstkontrolle bedingte Entscheidungen für die belohnendsten Optionen im gegebenen Entscheidungssset widerspiegeln. Allerdings zeigt die Caudatusinteraktion dennoch einen spezifischen Effekt der Langeweilevermeidung. Durch reduzierte Selbstkontrolle bedingte Entscheidungen für die belohnendsten Optionen hätten sich auch in den beiden Kontrollbedingungen deutlich zeigen sollen, da dieser Effekt über alle Entscheidungen hinweg statt nur spezifisch in der Langeweilebedingung auftreten sollte. Selektive Entscheidungseffekte lassen sich anhand des Modells von Inzlicht und Schmeichel (2012) nicht hinreichend erklären, da in diesem Modell anhaltende Veränderungen der Belohnungsverarbeitung durch zuvor reduzierte Selbstkontrolle, aber keine Veränderungen von einem Entscheidungsdurchgang zum nächsten angenommen werden. In zukünftigen Studien würde die Hinzunahme einer weiteren Versuchsgruppe ohne vorherige

Langeweilerfahrung möglicherweise anhaltende Unterschiede bei den Entscheidungen und der neuronalen Verarbeitung über die Gruppen hinweg aufzeigen. Jedoch ist es fraglich, ob dieses Modell zur Selbstkontrolle im Kontext von Studie 1 angewendet werden kann. Es ist unklar, auf welchen Zeitraum sich Zeitpunkt 1 und 2 beziehen. So könnten Zeitpunkt 1 und 2 nur innerhalb der Aufgabenblöcke liegen. Weiterhin gäbe es interferierende Aufgaben, sofern Zeitpunkt 1 die Langeweileaufgabe und Zeitpunkt 2 die Entscheidungsphase darstellt. Denn nach der Langeweileaufgabe folgte nicht bei jedem Probanden direkt die Entscheidungsphase, sondern auch, je nach Ausbalancierung, entweder eine oder beide Kontrollaufgaben, bevor dann die Entscheidungsphase bearbeitet wurde.

Ein Vergleich der Ergebnisse der explorativen Analyse der Aufgabenblöcke mit den Ergebnissen der Analyse der Entscheidungsphase weist sowohl auf Unterschiede als auch auf Gemeinsamkeiten in der neuronalen Verarbeitung zwischen der Erfahrung und Antizipation von Langeweile hin. Bei der Durchführung der Langeweileaufgabe wurde eine erhöhte Aktivität im DLPFC, VLPFC und dACC festgestellt, wobei diese Regionen während der Entscheidungsphase nicht aktiviert waren. Eine hohe Leistung bei einer Aufgabe trotz Langeweile beizubehalten, erfordert Aufmerksamkeitskontrolle und damit assoziierte exekutive Prozesse (Eastwood et al., 2012), ähnlich wie bei Vigilanzaufgaben, bei denen der DLPFC, VLPFC und der dACC ebenso involviert sind (Langner & Eickhoff, 2013; Nelson, McKinley, Golob, Warm, & Parasuraman, 2014). Im Gegensatz dazu war der Nucleus caudatus selektiv am Entscheidungsverhalten beteiligt, spielte aber keine Rolle dabei, zwischen der Erfahrung der Langeweile und der Kontrollaufgabe zu differenzieren. Diese explorativen Ergebnisse legen den Schluss nahe, dass exekutive Kontrolle im Zustand der Langeweile für das Aufrechterhalten der Leistung bei einer Aufgabe relevant ist, aber keine Funktion bei Entscheidungen mit antizipierter Langeweile hat, welche durch den motivationalen Drang vermittelt werden, Langeweile zu vermeiden und sich Anregung zu verschaffen.

Während der Durchführung der Langeweileaufgabe wurde auch eine erhöhte Aktivierung in der rechten Amygdala im Vergleich zur Suchaufgabe gefunden. Dieses Ergebnis deckt sich mit der Untersuchung von Mathiak et al. (2013), in der gefunden wurde, dass die Amygdala an der Langeweilerfahrung beteiligt ist. Bei der Langeweilerfahrung könnte die Amygdala die Aversivität des Zustands der Langeweile repräsentieren. Es konnte vielfach gezeigt werden, dass die Amygdala auf appetitive und aversive Eigenschaften und Zustände reagiert (Janak & Tye, 2015; Morrison & Salzman, 2010). Alternativ ist es möglich, dass die Amygdala den Langeweilefaktor hohes Arousal bei der Langeweilerfahrung widerspiegelt. In einer aktuellen Untersuchung von Ulrich, Keller und Grön (2016) sollten Probanden mathematische Aufgaben in drei unterschiedlichen Bedingungen lösen: Langeweile (sehr

einfache Aufgabe), Überlastung (zu schwierige Aufgaben) und Flow (zufriedenstellende Aufgabenanforderungen). Sowohl in der Langeweile- als auch in der Überlastungsbedingung könnte ein hohes Arousal gewirkt haben. Unter Langeweile könnte es als Versuch der Selbststimulation kompensatorisch entstanden sein (Fahlman et al., 2013) und in der Überlastungsbedingung als Folge zu hoher Aufgabenanforderungen. Es ergab sich, dass die Amygdala in diesen beiden Bedingungen zusammen stärker aktiviert war als in der Flow-Bedingung, wobei die Aktivierung in der Langeweilebedingung am höchsten war. Dass diese Aktivierung arousalbedingt sein könnte, würde zu den Befunden passen, dass Amygdala-Aktivitäten mit Arousal einhergehen (z.B. Colibazzi, Posner, Wang, Gorman, Gerber, Yu, Zhu, Kangarlu, Duan, & Russell, 2010; Pessoa, 2010). Die Arousalinterpretation steht im Einklang mit einer Untersuchung von Critchley (2005), in der ein mit Arousal verbundenes Netzwerk bestehend aus dem ACC, der Insula und der Amygdala gefunden wurde. Das spricht ebenso dafür, dass die Insula-Aktivierung bei der Langeweileerfahrung in Studie 1 ebenso mit Arousal assoziiert sein könnte. Die Amygdala-Aktivierung bei der Langeweileerfahrung könnte auch frustrationsbedingt sein, da sowohl Langeweile als auch die Amygdala mit Frustration assoziiert sind (Fahlman et al., 2013; Yu, Mobbs, Seymour, Rowe, & Calder, 2014). Somit könnte die Amygdala Aversivität, Arousal oder auch Frustration im Zustand der Langeweile repräsentieren, auf Basis der vorliegenden Daten lässt sich aber keine Rolle der Amygdala bei Entscheidungen mit antizipierter Langeweile nachweisen.

Dagegen stehen die Insula-Ergebnisse im Einklang mit der Repräsentation sowohl der Langeweileerfahrung als auch der Langeweileantizipation. Die Insula-Aktivierung während der Langeweileaufgabe bestätigt vorherige Ergebnisse zur Beteiligung der Insula an der Langeweileerfahrung (Danckert & Merrifield, 2016; Mathiak et al., 2013). In der vorliegenden Untersuchung wurden bei Probanden mit einer höheren Preisdifferenz zwischen den Aufgaben Aktivierungen der Insula während der Entscheidungen für die Langeweileaufgabe gefunden. Das spricht dafür, dass die Insula auch die Erwartung der Langeweile signalisiert. An diesem Befund könnten zwei Hauptmechanismen beteiligt sein: Eine Möglichkeit wäre, dass die Insula-Aktivität individuelle Differenzen im langeweilebezogenen motivationalen Drang repräsentiert, so dass Probanden, die bereit sind, höhere Kosten zu tragen, um Langeweile zu vermeiden, eine höhere Aktivierung in Durchgängen zeigen, in denen sie dieser Verhaltenstendenz nicht folgen. Die Insula könnte somit die Aversivität antizipierter Langeweile oder die kognitive Kontrolle repräsentieren, die für diese Entscheidungen nötig ist. Eine andere Möglichkeit wäre, dass die Insula-Aktivierung die höheren Kosten der Musikoption in diesen Durchgängen signalisierte, so dass Entscheidungen in Richtung der weniger teuren Option geleitet wurden. Während sich durch die angewendeten Analysen die von der Insula ausgeführten Prozesse nicht vollständig ergründen lassen, steht die

Aktivitätsüberlappung zwischen der Langweileaufgabe und der Entscheidungsphase dennoch mit der Interpretation im Einklang, dass die Insula-Aktivität sowohl die Langweileerfahrung als auch die Langweileantizipation widerspiegelt.

Im Folgenden wird auf Limitationen in Studie 1 eingegangen. Es sind Einschränkungen in Bezug auf die Kontrollaufgaben ersichtlich. Die Suchaufgabe war im Vergleich zur Langweileaufgabe anstrengender. Es wäre also möglich, dass der Faktor Anstrengung deshalb Effekte auf die vorliegenden Ergebnisse hatte. Dagegen spricht, dass keine Effekte des Anstrengungsratings auf Kaufentscheidungen gefunden wurden. Weiterhin wurde die Suchaufgabe nicht als einzige Kontrollaufgabe verwendet, sondern sie wurde mit der Bewertungsaufgabe als weiterer Kontrolle kombiniert. Dennoch ist der Faktor Anstrengung ein relativ ausgeprägter Teil der Suchaufgabe, weswegen es nicht mit Sicherheit auszuschließen ist, dass Aktivitäten im Nucleus caudatus zum Teil auch die Vermeidung antizipierter Anstrengungslosigkeit statt der Vermeidung antizipierter Langweile widerspiegeln. Da es keine Effekte der Kovariate Anstrengung auf Entscheidungen gab und insbesondere auch aufgrund der Kombination der Kontrollaufgaben ist dies jedoch unwahrscheinlich. Für zukünftige Untersuchungen wäre es dennoch ratsam, diese Kontrollaufgabe weniger anstrengend zu gestalten. Ein weiteres Problem bei der Suchaufgabe besteht darin, dass sie sich bezüglich der Durchgangsabfolge von der Langweileaufgabe unterscheidet, die Durchgänge jeweils länger dauern und die Gesamtzahl der Durchgänge kürzer ist. Allerdings wäre bei einer Verkürzung der Präsentationsdauer innerhalb der Durchgänge die Suchaufgabe nicht mehr lösbar oder sie würde einen zu hohen Schwierigkeitsgrad aufweisen und Frustration bewirken. Diese Problematik besteht zwar bei der Bewertungsaufgabe nicht, allerdings wurde diese im Vergleich zur Suchaufgabe als langweiliger bewertet. Die Unterschiede zwischen der Langweile- und der Suchaufgabe erschwerten die Vergleichbarkeit der beiden Aufgaben, jedoch spricht für den Einsatz der Suchaufgabe, dass sie die am wenigsten langweilige Aufgabe darstellte. Dennoch wäre es vorteilhaft, noch bessere Kontrollaufgaben für die Langweileaufgabe zu finden.

Ein mögliches Problem liegt darin, dass die Ratings (Langweile, Interesse, Anstrengung und Angenehmheit) nicht alle direkt hintereinander abgefragt wurden. Die Langweile- und Interessenratings wurden jeweils am Ende jedes Aufgabenblocks erfragt und die anderen beiden Ratings wurden für alle Aufgaben nacheinander am Ende der Entscheidungsphase erhoben. Langweile- und Interessenratings wurden direkt nach der jeweiligen Aufgabe erfragt, um unmittelbar möglichst unverfälschte Einschätzungen zur Langweiligkeit der einzelnen Aufgabe zu erhalten. Weiterhin sollte das Zeitintervall zwischen den Aufgabenblöcken möglichst kurz gehalten werden, sodass nicht zu viele Fragen direkt auf

die Aufgaben folgen sollten. Außerdem sollten Interferenzen durch die Ratings vermieden werden, welche die Verarbeitung der jeweils folgenden Aufgabe hätten beeinflussen können. Allerdings könnte dieses Vorgehen aufgrund der unterschiedlichen Erhebungszeitpunkte auf Kosten der Vergleichbarkeit der Ratings gewirkt haben.

Zusätzlich zur Erhebung der verwendeten Ratings könnten in zukünftigen Untersuchungen in Bezug auf die Langeweile- und Kontrollaufgaben weitere Fragen zur aktuellen Stimmung sowie zu positivem und negativem Affekt gestellt werden, um den Einfluss dieser Faktoren in der Analyse zu kontrollieren.

5.2. Studie 2 – Einflüsse kontextueller Neuheit auf intertemporale Entscheidungen

Die vorliegende Untersuchung demonstriert, dass kontextuelle Neuheit intertemporale Entscheidungen beeinflusst. Die Ergebnisse legen nahe, dass Menschen zukünftige Beträge stärker diskontieren und sich somit vermehrt für schnell verfügbare Belohnungen entscheiden, wenn neue Stimuli kurz vor intertemporalen Entscheidungsoptionen präsentiert werden (Experiment 1). Das spricht dafür, dass kurz vorausgehende kontextuelle Neuheit eine erhöhte Belohnungsreaktivität bewirkt und lässt sich mit Befunden vereinen, dass kontextuelle Neuheit die neuronale Repräsentation von Belohnungen verstärkt (Bunzeck et al., 2011; Guitart-Masip et al., 2010a). Stark Neuheitsstrebende scheinen schnellere Entscheidungen für die früher verfügbaren Belohnungen zu treffen, wenn neue Stimuli gleichzeitig mit intertemporalen Entscheidungsoptionen dargeboten werden (Experiment 2). Das deutet darauf hin, dass Neuheit eine kurzfristige Reaktionserleichterung bewirken kann und steht mit Befunden zu kurzzeitigen Reaktionszeitverkürzungen durch Neuheit im Einklang (Schomaker & Meeter, 2014). Dieser Effekt könnte ebenso wie in Experiment 1 mit einer Erhöhung der Belohnungsreaktivität in Verbindung stehen. Dass dieser Reaktionszeiteffekt allerdings in Experiment 2 nur bei stark Neuheitsstrebenden gefunden wurde und dass in Experiment 2 keine Entscheidungseffekte ersichtlich waren, könnte allerdings auch für einen unterschiedlichen Mechanismus bei gleichzeitig zu Entscheidungsoptionen dargebotener Neuheit im Vergleich zu dem bei kurz zuvor präsentierter Neuheit sprechen (siehe unten).

Der Nachweis einer durch kontextuelle Neuheit bedingten Bevorzugung früher verfügbarer Beträge (Experiment 1) lässt sich in die Literatur einreihen, in der kontextuelle Effekte auf Entscheidungsverhalten nachgewiesen wurden (siehe Abschnitt 1.3.3), wie es bereits bei klassischen Befunden zu Kontexteinflüssen bei Entscheidungen deutlich wird (z.B. Tversky & Kahneman, 1981). Das Ergebnis des ersten Experiments demonstriert, dass intertemporale Entscheidungen kontextuell beeinflussbar sind (für einen Überblick siehe Koffarnus, Jarmolowicz, Mueller, & Bickel, 2013). Dies konnte in der früheren Forschung vielfach nachgewiesen werden: Beispielsweise konnte gezeigt werden, dass Alltagsaktivitäten wie das Planen eines Ereignisses Präferenzen für intertemporale Entscheidungsoptionen beeinflussen (Ungemach, Stewart, & Reimers, 2011). In einer anderen Untersuchung von Magen, Dweck und Gross (2008) wurde beispielsweise eine Form des Framing-Effekts bei intertemporalen Entscheidungen aufgezeigt: In dieser Untersuchung gab es eine Bedingung, in der die Probanden Standard-Entscheidungspaare mit jeweils einem früher und einem später verfügbaren Betrag bekamen (versteckte Null-Bedingung), und eine Bedingung, in der jeweils zum früher und später verfügbaren Betrag ein Betrag in Höhe von 0\$ für die jeweilige Alternativoption hinzugefügt wurde (explizite Null-Bedingung). Obwohl beide Bedingungen inhaltlich identisch waren, waren die Probanden in letzterer Bedingung mit explizit

präsentierter Null weniger impulsiv als in der Bedingung mit „versteckter“ Null (Hidden-Zero-Effekt). Die Umgebung, in der intertemporale Entscheidungen getroffen werden, stellt eine weitere Form des kontextuellen Einflusses dar. Spielsüchtige trafen beispielsweise impulsivere Entscheidungen, wenn sie intertemporale Entscheidungen in einem Wettbüro treffen sollten, im Vergleich zu nicht-spielbezogenen Umgebungen wie Restaurants (Dixon, Jacobs, & Sanders, 2006). In einer anderen Untersuchung führte das Betrachten attraktiver Gesichter von Frauen zu darauf folgenden erhöhten Diskontierungen zukünftiger Entscheidungsoptionen bei Männern (Wilson & Daly, 2004).

Die durch kontextuelle Neuheit hervorgerufenen erhöhten Diskontierungen (Experiment 1) sind mit dem Modell von Volkow und Baler (2015) vereinbar und liefern erste Hinweise, dass dieses Modell zu intertemporalen Entscheidungen um den Einflussfaktor der kontextuellen Neuheit erweitert werden könnte. Dieses Modell legt nahe, dass die gefundenen Neuheitseinflüsse durch phasisches Dopamin vermittelt worden sein könnten.

In den nachfolgenden Abschnitten werden Mechanismen diskutiert, die den Neuheitseffekten aus Studie 2 zugrunde liegen könnten. Die ermittelten Neuheitseffekte waren kurz anhaltend. Im Design der beiden Experimente wechselten sich Durchgänge mit neuen Stimuli und Durchgänge mit vertrauten Stimuli ab. Die Effekte wurden spezifisch in den Neuheitsdurchgängen gefunden und waren nicht in den Durchgängen mit den vertrauten Stimuli vorhanden, da es ansonsten keinen Unterschied zwischen diesen Bedingungen gegeben hätte. Demnach lag die Dauer der Neuheitseinflüsse im Bereich von Sekunden. Diese schnell eintretenden Effekte stehen im Einklang zu den Ergebnissen von Bunzeck et al. (2011) und passen zu der Annahme, dass der Einfluss kontextueller Neuheit durch phasische dopaminerge Aktivität bedingt sein könnte. Über die abwärtsgerichtete Kurve der Hippocampus-VTA-Schleife könnte in der Neuheitsbedingung die tonische Inhibition dopaminergener Neurone in der SN/VTA aufgehoben worden sein (Lisman & Grace, 2005). Weiterhin könnten in den Neuheitsdurchgängen die neuen Stimuli selbst tonisch aktivierte dopaminerge Neurone in einen phasischen Feuerzustand überführt haben. In der Untersuchung von Guitart-Masip et al. (2010a) wurde der Hippocampus durch Neuheit aktiviert und im Kontext der Neuheit ergaben sich erhöhte striatale Aktivierungen bei der Darbietung mit Belohnung assoziierter Ereignisse, was sich durch das Modell von Lisman und Grace (2005) erklären lässt (siehe Abschnitt 1.5.1). Ein möglicher phasischer dopaminergener Effekt in der SN/VTA durch kontextuelle Neuheit könnte demnach durch das Zusammenspiel von Aktivierungen, die ihren Ursprung im Subiculum haben, vermittelt worden sein. Die phasische dopaminerge Aktivität in der SN/VTA könnte über nigrostriatale Projektionen dem Striatum Informationen zu einer potentiellen Belohnungsverfügbarkeit vermittelt haben, die Reaktionen ausgelöst haben könnten, welche den Organismus darauf

vorbereiten, die Umwelt aktiv nach Belohnungen zu explorieren. Dies würde sich damit decken, dass durch Neuheit Explorationsverhalten erhöht wird (Wittmann et al., 2008). Bei intertemporalen Entscheidungen wurde die schnell verfügbare Belohnung möglicherweise bevorzugt (Experiment 1) bzw. schneller gewählt (Experiment 2), weil sich eine Exploration nach Belohnungen und ein damit verbundenes Annäherungsverhalten auf die konkrete Situation bezieht, in der die Neuheit auftritt. Die später verfügbare Belohnung konnte - ausgehend von der aktuellen Entscheidungssituation - frühestens in einem Monat und zwei Wochen erhalten werden. Eine Entscheidung zu Gunsten einer solchen Option würde nicht mit einem Annäherungsverhalten an Belohnungen in einem durch Neuheit ausgelösten zeitlich begrenzten Explorationsszenario im Einklang stehen. Eine durch kontextuelle Neuheit hervorgerufene phasische dopaminerge Aktivität im Mittelhirn könnte also eine erhöhte Belohnungsreaktivität verursacht haben. Diese erhöhte Belohnungsreaktivität könnte im Endeffekt zur vermehrten (Experiment 1) und schnelleren (Experiment 2) Wahl früher verfügbarer Optionen geführt haben. Sofern dieser phasische dopaminerge Einfluss für die Effekte in der vorliegenden Untersuchung verantwortlich ist, steht dies auch damit im Einklang, dass eine Verabreichung von L-Dopa eine Zunahme zeitlicher Diskontierungen mit sich bringt (Pine et al., 2010). In der Untersuchung von Pine et al. (2010) könnte durch L-Dopa eine tonische Disinhibition in der SN/VTA, also eine Erhöhung tonischer Dopaminlevel, die Basis für phasische Effekte während der intertemporalen Entscheidungen gelegt haben. Durch die Hinweisreize der früher verfügbaren Optionen könnten verstärkt phasische Reaktionen im dopaminergen Mittelhirn ausgelöst worden sein.

Die Annahme, dass die in der vorliegenden Untersuchung gefundenen Effekte kontextueller Neuheit gemäß der Theorie von Niv et al. (2007) allein über tonische dopaminerge Aktivität zu erklären sind, ist aufgrund des Designs der Studie unwahrscheinlich. Eine Erhöhung der durchschnittlichen Belohnungsrate und somit gleichsam der Opportunitätskosten der Zeit, codiert durch die tonische Aktivität dopaminergener Neurone, sollte länger anhalten, sodass keine Unterschiede zwischen der Neuheits- und Vertrautheitsbedingung hätten bestehen sollen. Der tonische Einfluss hätte sich auch auf die Vertrautheitsdurchgänge auswirken müssen. Es könnte angenommen werden, dass die Gesamtmenge durch kurz dargebotene Neuheitsreize tonisch aktivierter dopaminergener Neurone nicht ausreichend ist, um die durchschnittliche Belohnungsrate auf ein Level zu bringen, das intertemporale Entscheidungen länger anhaltend beeinflusst.

Erhöhte Ausprägungen beim Merkmal Streben nach Neuheit gingen mit kürzeren Reaktionszeiten für früher verfügbare Beträge einher (Experiment 2). Wenn angenommen werden kann, dass diese Neuheitseffekte durch Dopamin vermittelt sind, stehen diese Ergebnisse im Einklang damit, dass ein starkes Streben nach Neuheit mit erhöhten

neuheitsbedingten Aktivierungen im ventralen Striatum (Wittmann et al., 2008) und in der SN/VTA (Krebs et al., 2009) einhergeht, dass stark Neuheitsstrebende stärker auf d-Amphetamin reagieren (Stoops et al., 2007) und eine geringere Verfügbarkeit D2-ähnlicher Autorezeptoren im Mittelhirn aufweisen (Zald et al., 2008). Diese Befunde, die den Zusammenhang zwischen dem Merkmal Streben nach Neuheit und dopaminergem Aktivität nahe legen, bekräftigen die Annahme, dass der in Experiment 2 gefundene Effekt bei stark Neuheitsstrebenden auf einer verstärkten dopaminergen Aktivität basieren könnte.

Im Folgenden werden alternative Erklärungsansätze für die Effekte aus Studie 2 dargestellt. Die vorliegenden Ergebnisse könnten auch indirekt auf andere Effekte und nicht direkt auf kontextuelle Neuheitseinflüsse zurückzuführen sein. Es wäre möglich, dass ein erhöhtes Arousal in der Neuheitsbedingung für die Effekte verantwortlich war. Dies würde mit dem Befund von Sohn, Kim, Sohn, Seok, Choi und Watanuki (2015) im Einklang stehen, dass erhöhte Diskontierungen zukünftiger Beträge nach der Darbietung von Bildern, die ein hohes Arousal auslösen, beobachtet wurden. Allerdings scheint dieser Befund auf stark emotionale Stimuli zurückzuführen sein und ist deswegen mit den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung nur bedingt vergleichbar. Weiterhin existieren unterschiedliche Befunde bezüglich der Richtung von Arousaleffekten auf intertemporale Entscheidungen. Eine Untersuchung von Lempert, Glimcher und Phelps (2015) legt nahe, dass Arousal bei intertemporalen Entscheidungen mit einer klaren Bevorzugung weder der früheren noch der späteren Optionen einhergeht, sondern intertemporale Entscheidungen abhängig von dem Erwartungswert der Optionen beeinflusst. Bezogen auf die vorliegende Untersuchung lassen sich auf Basis neurobiologischer Ergebnisse gerichtete Annahmen zu Arousaleinflüssen formulieren: Kontextuelle Neuheit könnte über eine damit verbundene Arousalerhöhung erhöhte Aktivität des noradrenergen Systems bewirkt haben (Schomaker & Meeter, 2015). Es gibt Hinweise darauf, dass das noradrenerge System an intertemporalen Entscheidungen beteiligt ist. Beispielsweise wurde in einer Untersuchung mit Kokainabhängigen gefunden, dass eine erhöhte Rezeptordichte des α -2A-adrenergen Rezeptortypen (ADRA2A) mit verringerten Diskontierungen der zukünftigen Optionen in Verbindung steht (Havranek, Hulka, Tasiudi, Eisenegger, Vonmoos, Preller, Mössner, Baumgartner, Seifritz, & Grünblatt, 2015). Die Verabreichung des ADRA2A-Agonisten Guanfacin bewirkte bei Rhesusaffen weiterhin erhöhte Präferenzen für später verfügbare Belohnungen (Kim, Bobeica, Gamo, Arnsten, & Lee, 2012). Demnach sollte eine in der Neuheitsbedingung durch Arousal bedingte Modulation noradrenerger Aktivität keine erhöhten, sondern verringerte Diskontierungen bewirken. Allerdings scheint das noradrenerge System für intertemporale Entscheidungen eine weniger wichtige Rolle zu spielen als das dopaminerge System. In einer Untersuchung von van Gaalen, van Koten, Schoffeleers und Vanderschuren (2006) konnten Diskontierungen durch die Blockade von Dopamin-

Wiederaufnahmetransporterproteinen verringert werden, allerdings nicht durch die Blockade von Noradrenalin-Wiederaufnahmetransportern. Zudem verringerte die Verabreichung eines Dopamin-D2-Antagonisten die noradrenergen Effekte der erhöhten Präferenz für später verfügbare Wahlalternativen. Somit scheint der Einfluss des noradrenergen Systems auf intertemporale Entscheidungen die Aktivierung dopaminerg D2-Rezeptoren zu erfordern. Diese Ergebnisse bekräftigen die Annahme, dass das dopaminerge System für die vorliegenden Ergebnisse der erhöhten und schnelleren Diskontierungen ausschlaggebend ist. Die verwendeten Stimuli wurden in Voruntersuchungen zwar als relativ positiv bewertet, allerdings lässt sich vermuten, dass sie kein ausreichend hohes Arousal auslösen können, um noradrenerge Effekte auf intertemporale Entscheidungen zu bewirken.

Da Grund zur Annahme besteht, dass die verwendeten Stimuli von den Probanden als positiv wahrgenommen wurden, ist es möglich, dass eine positive Stimmung oder positive Emotionen den Effekten in Studie 2 zugrunde liegen. Appetitive Reize, die positive Emotionen auslösen, können Personen zur Bevorzugung schnell verfügbarer Optionen bei intertemporalen Entscheidungen treiben (z.B. Augustine & Larsen, 2011; Li, 2008). Aufgrund dieser Gemeinsamkeiten zwischen der Verarbeitung von Neuheit und positiven Stimmungen und Emotionen ist es nicht auszuschließen, dass diese Faktoren an den vorliegenden Ergebnissen beteiligt oder für diese ausschlaggebend waren. Da das Design von Studie 2 in einer Abwechslung von Neuheit und Vertrautheit von Durchgang zu Durchgang bestand, war es nicht möglich, derartige potentielle Einflussfaktoren anhand von Ratings zu kontrollieren.

Auch wenn der Reaktionszeiteffekt in Experiment 2 auf eine dopaminerg vermittelte Erhöhung der Belohnungsreaktivität bei stark Neuheitsstrebenden zurückzuführen sein könnte, könnte für diesen Effekt allerdings auch - aufgrund der Rolle dieses Systems bei der Modulation von Reaktionszeiten - ein noradrenerger Mechanismus angenommen werden (Nieuwenhuis et al., 2005). Ein durch Neuheit ausgelöstes Arousal, welches das noradrenerge System über den Locus coeruleus aktiviert, war möglicherweise nicht hoch genug, um intertemporale Entscheidungen direkt zu beeinflussen. Allerdings wäre es unter Berücksichtigung der Ergebnisse früherer Untersuchungen möglich, anzunehmen, dass Neuheit bei der gleichzeitigen Präsentation der Entscheidungsoptionen über das noradrenerge System eine Reaktionserleichterung bewirkt hat (Aston-Jones & Cohen, 2005; Nieuwenhuis et al., 2005). Falls das noradrenerge System nur eine allgemeine neuheitsinduzierte Reaktionserleichterung bewirkt hätte, hätte sich die Verkürzung der Reaktionszeiten auch bei den Entscheidungen für die späteren Beträge zeigen müssen. Sie zeigte sich allerdings spezifisch bei den stark Neuheitsstrebenden, wenn sie sich für die früheren Beträge entschieden hatten. Stark Neuheitsstrebende neigen zur verstärkten Diskontierung zukünftiger Beträge (Anokhin, Golosheykin, Grant, & Heath, 2011) und

Streben nach Neuheit steht im Zusammenhang mit Sensation Seeking (Mccourt, Gurrera, & Cutter, 1993) sowie mit impulsivem Verhalten (Blackburn, 1969). Deshalb lässt sich vermuten, dass die Probanden mit einer hohen Ausprägung beim Merkmal Streben nach Neuheit den Impuls hatten, sich schnell für die früheren Beträge zu entscheiden. Möglicherweise noradrenerg vermittelte Reaktionserleichterungen könnten ihre Reaktionszeiten bei diesen Entscheidungen für die früheren Beträge weiter verkürzt haben. Neuheitsbedingte reaktionszeitverkürzende Effekte sollten also auch bei ihren Entscheidungen für die späteren Beträge gewirkt haben, aber nur bei denen für die früheren Beträge einen deutlichen Effekt produziert haben, weil diese Probanden möglicherweise bereits aufgrund ihrer Impulsivität tendenziell schneller auf diese Optionen reagierten. Demnach könnte eine Interaktion des dopaminergen Systems (aufgrund des Zusammenhangs zwischen Dopamin und dem Streben nach Neuheit) und des noradrenergen Systems (aufgrund potentiell noradrenerg vermittelter Reaktionserleichterungen) einen Mechanismus ausbilden, der den Reaktionszeiteffekt bei gleichzeitiger Neuheitsdarbietung erklären würde.

In den folgenden Abschnitten werden Erklärungsmöglichkeiten dafür gegeben, dass in den Experimenten 1 und 2 unterschiedliche Effekte auftraten. Dass in Experiment 1 keine Reaktionszeiteffekte auftraten, solche jedoch in Experiment 2 gefunden wurden, kann auf das unterschiedliche Design der Experimente zurückzuführen sein. Während beim ersten Experiment zwischen dem Offset eines neuen Stimulus und der Darbietung der intertemporalen Entscheidungsoptionen 500 ms lagen, wurde die Neuheit beim zweiten Experiment gleichzeitig mit den Optionen präsentiert. Eine frühere Studie konnte zeigen, dass bei einer kurzen Verzögerung zwischen einem für die Aufgabe irrelevanten neuen Stimulus und einem Zielreiz (0 und 200 ms) im Vergleich zu einer Kontrollbedingung eine Verkürzung der Reaktionszeiten stattfand. Bei einer zeitlichen Verzögerung von 800 ms konnte kein Reaktionszeiteffekt ermittelt werden (Schomaker & Meeter, 2014). Diese Befunde stimmen mit den Reaktionszeitmustern überein, die bei der vorliegenden Untersuchung gefunden wurden. Das spricht dafür, dass sich neuheitsbedingte Reaktionszeiteffekte nur bei sehr kurzer Verzögerung (< 500 ms) zwischen Neuheit und Zielreiz einstellen und einen erhöhten Grad an Neuheitsstreben als Persönlichkeitsmerkmal erfordern. Weiterhin steht dies damit im Einklang, dass der Reaktionszeiteffekt im zweiten Experiment auf einer noradrenerg vermittelten Reaktionserleichterung basieren könnte, da ein solcher Effekt ca. 150-200 ms nach Stimulusonset eintreten und für eine Dauer von ca. 100-200 ms wirken sollte (Nieuwenhuis et al., 2005). Die zeitliche Komponente einer solchen Reaktionserleichterung würde das Fehlen von Reaktionszeiteffekten im ersten Experiment erklären. Der Reaktionszeiteffekt in Experiment 2 spricht auch dafür, dass die Instruktionen adäquat befolgt wurden und die Probanden sich auf die intertemporale

Entscheidungsaufgabe konzentriert haben. Bei fehlendem Fokus auf die intertemporalen Entscheidungen hätte auch von einer Erhöhung der Reaktionszeiten in der Neuheitsbedingung ausgegangen werden können, da die kontextuelle Neuheit hätte bewirken können, dass die Hintergrundbilder länger betrachtet worden wären.

Aufgrund des Zusammenhangs zwischen Impulsivität und dem Merkmal Streben nach Neuheit war zu erwarten, dass stark Neuheitsstrebende nicht nur schneller auf früh verfügbare Optionen reagieren, sondern diese Optionen auch vermehrt wählen. Dass stark Neuheitsstrebende in Experiment 2 keinen Entscheidungseffekt, sondern nur einen Reaktionszeiteffekt zeigten, lässt sich anhand eines Modells von Wetzel, Widmann und Schröger (2012) erklären. Nach diesem Modell wird die Leistung in einer Aufgabe unter dem Einfluss von Neuheit von der Summe folgender drei Faktoren determiniert: die Kosten der Orientierungsreaktion, der durch Neuheit vermittelte Informationsgehalt für die Aufgabe und eine unspezifische Neuheitsaktivierung. Letztere könnte über einen Anstieg im Arousal sensorische und motorische Areale aktivieren (Aston-Jones & Cohen, 2005) und eine Reaktionserleichterung bewirken (siehe oben). In Studie 2 lieferten neue Stimuli keine nützlichen Informationen für die Aufgabe. Die unspezifische Neuheitsaktivierung könnte bei stark Neuheitsstrebenden möglicherweise dominierend sein und die Kosten der Orientierungsreaktion aufwiegen. Diese unspezifische Neuheitsaktivierung sollte deshalb Reaktionserleichterungen auf Reaktionszeitebene bewirken (Wetzel et al., 2012). Hingegen ergeben sich aus dem Modell von Wetzel et al. (2012) keine Implikationen, dass diese Aktivierung auch auf der höheren kognitiven Ebene der Entscheidungen wirken sollte. Es kann angenommen werden, dass diese Neuheitsaktivierung im zweiten Experiment nur bei stark Neuheitsstrebenden wirkt, weil sie bei allen anderen Probanden nicht dominiert. Diese Sichtweise steht auch mit dem früher entwickelten Modell von SanMiguel, Linden und Escera (2010) im Einklang, nach dem durch Neuheit eine Reaktionserleichterung auftreten sollte, sofern die Kosten der Orientierung auf den neuen Stimulus geringer sind als die arousalbedingte Begünstigung, die nach diesem Modell ebenso durch die Neuheit induziert wird. Einschränkend ist anzumerken, dass sich sowohl das Modell von SanMiguel et al. (2010) als auch das von Wetzel et al. (2012) auf die Verwendung von auditiven Stimuli gründen.

Als mögliche Erklärung für den Befund, dass in Experiment 2 im Gegensatz zu Experiment 1 keine neuheitsbasierten Entscheidungseffekte ersichtlich waren, kann angenommen werden, dass die Probanden aufgrund der gleichzeitigen Darbietung der Hintergrundbilder und der intertemporalen Entscheidungsaufgabe im zweiten Experiment abgelenkt waren. In den nachstehenden Abschnitten wird auf Ablenkung als Erklärungsmöglichkeit eingegangen.

Dass Hintergrundbilder potentiell ablenken und Effekte unterbinden können, die sich ansonsten bei sequentieller Darbietung ergeben, steht im Einklang mit einer Untersuchung von Rangel-Gomez et al. (2015). Bei dieser Untersuchung wurden den Probanden während der Durchführung einer Gedächtnisaufgabe aufgabenirrelevante neue oder vertraute Hintergrundbilder präsentiert. Bei der Darbietung neuer Hintergrundbilder ergaben sich keine Verbesserungen der Gedächtnisleistung, was den auf Basis früherer Studien zum Einfluss von Neuheit auf die Gedächtnisleistung (z.B. Fenker et al., 2008; Mayer, Kim, & Park, 2011; Schomaker et al., 2014) formulierten Erwartungen widersprach. Die Abwesenheit von Neuheitseffekten wurde darauf zurückgeführt, dass die Probanden durch neue Hintergrundbilder von der eigentlichen Aufgabe abgelenkt waren (Rangel-Gomez et al., 2015).

Es kann vermutet werden, dass in Experiment 2 - im Unterschied zur Untersuchung von Rangel-Gomez et al. (2015) - nicht nur die Ablenkung durch die neuen, sondern auch jene durch die vertrauten Hintergrundbilder für die Abwesenheit von Entscheidungseffekten verantwortlich war: Möglicherweise waren die Probanden sowohl durch die neuen als auch durch die vertrauten Hintergrundbilder abgelenkt, was sich durch einen ablenkenden Fokus auf diese Hintergrundbilder und/oder durch einen fortlaufenden Aufmerksamkeitswechsel zwischen den Bildern und der Aufgabe geäußert haben könnte. Ablenkung kann zu kognitiven Leistungseinbußen führen (z.B. Driver, 2001). Für die Aufmerksamkeitslenkung in einer visuellen Szene können im Allgemeinen zwei Mechanismen angenommen werden: ein schneller Prozess, der dazu führt, dass die Aufmerksamkeit auf saliente Stimuli gelenkt wird und ein langsamerer Prozess der kognitiven Kontrolle, welcher vielfältige Möglichkeiten der Aufmerksamkeitslenkung beinhalten kann (siehe Itti & Koch, 2000). Durch ablenkungsbedingte kognitive Leistungsminderungen während der Entscheidungsaufgabe könnte dieser zuletzt genannte Prozess zu Gunsten des auf visuelle Salienz ausgerichteten Prozesses beeinträchtigt worden sein. Dies könnte bewirkt haben, dass die Probanden ihre Aufmerksamkeit auf die Entscheidungsoption mit der höchsten Salienz gelenkt haben und diese dann gewählt haben. Es kann vermutet werden, dass bei der Entscheidungsaufgabe der jeweils höchste Geldbetrag den salientesten Stimulus darstellte. Geld sollte als sekundärer Verstärker für primäre Belohnungen per se salient sein und es kann bereits aufgrund der Tatsache, dass saliente Stimuli mit erhöhtem Arousal einhergehen (Horvitz, 2000), davon ausgegangen werden, dass höhere Beträge salienter als geringere Beträge sind. Auf dieser Basis könnten die Probanden in Experiment 2 aufgrund der Ablenkung sowohl bei den neuen als auch bei den vertrauten Hintergrundbildern jeweils häufiger den größeren späteren Betrag im Vergleich zum kleineren früheren Betrag gewählt haben. Somit würde sich keine vermehrte Wahl des kleineren früheren Betrags in der Neuheitsbedingung im Vergleich zur Vertrautheitsbedingung ergeben haben, da in beiden Bedingungen

ablenkungsbedingt der salientere spätere Betrag in einem ähnlichen Ausmaß bevorzugt worden wäre.

Die Ablenkung könnte auch aufgrund eines anderen Mechanismus zur vermehrten Wahl der späteren Beträge geführt haben: Ablenkung kann als starker, früh eintretender Selektionsfilter wirken, der die Verarbeitung eintreffender Informationen beeinflusst (Ashe, Newman, & Wilson, 2015). Nach Sheppes und Gross (2011) verhindert Ablenkung die Verarbeitung der affektiven Bedeutung eines Stimulus. Nach einer Analyse von Metcalfe und Mischel (1999) führt ein emotional geprägtes Verarbeitungssystem zur Bevorzugung unmittelbarer Belohnungen und ein kognitiv geprägtes System wird mit Belohnungsaufschub assoziiert. Also könnte Ablenkung durch die Filterung emotional affektiver Informationen bewirken, dass die Entscheidungsoptionen auf einer rationaleren Ebene mit mehr Selbstkontrolle evaluiert werden, was zur vermehrten Bevorzugung der späteren Beträge geführt haben könnte. In klassischen Untersuchungen wurde bereits gefunden, dass sich Menschen selbst ablenken, um sich in die Lage zu versetzen, weniger impulsiv zu handeln. Wenn Kinder beispielsweise in die Situation gebracht werden, eine bevorzugte Belohnung zu erhalten, indem sie eine längere Zeit warten, können Ablenkungen von dieser Belohnung - wie der Umgang mit Spielsachen - dazu führen, dass die Kinder länger warten (Mischel, Ebbesen, & Raskoff Zeiss, 1972). Ein ähnlicher Befund wurde auch bei Schimpansen festgestellt, die eine größere Menge an Süßigkeiten erhalten konnten, wenn sie den Konsum von Süßigkeiten hinauszögerten. Wenn die Möglichkeit bestand, dass sie sich mit bestimmten Spielsachen ablenken konnten, waren sie bereit länger zu warten (Evans & Beran, 2007). Bei diesen Untersuchungen führte - im Unterschied zur intertemporalen Entscheidungsaufgabe aus Experiment 2 - aktives Warten während der Entscheidungssituation dazu, dass höhere Belohnungen erhalten wurden. Die Selbstablenkung kann in diesen Studien also zur Überbrückung der Wartezeit genutzt worden sein. Sie könnte aber auch durch eine generelle Verminderung emotionaler Einflüsse gewirkt haben (siehe oben; vgl. auch Ashe et al., 2015) und impulsives Verhalten eventuell durch diesen Mechanismus vermindert haben. Dementsprechend könnten sich die Probanden in Experiment 2 auch selbst mit den Hintergrundbildern abgelenkt haben, um gegen etwaige impulsive Tendenzen anzugehen.

Ungeachtet des Mechanismus, mittels dessen Ablenkung gewirkt haben könnte, lässt sich annehmen, dass Ablenkungseffekte in Experiment 2 auftraten. Angenommen diese Ablenkung wurde durch einen fortlaufenden Aufmerksamkeitswechsel widergespiegelt (vgl. Berti & Schröger, 2003) - im vorliegenden Fall zwischen den Bildern und der Aufgabe. Dann könnte diese Ablenkung dazu geführt haben, dass Neuheit keinen Einfluss ausüben konnte, da durch diese Form der Ablenkung keine Fokussierung auf die neuen Stimuli erfolgte. So

könnten die Probanden bei stärkerer Ablenkung weniger stark auf die Neuheit reagiert haben. Eventuell waren nicht alle Probanden in allen Durchgängen (in diesem Sinne) abgelenkt: Stark Neuheitsstrebende waren möglicherweise in einigen Neuheitsdurchgängen, in denen sie den früheren Betrag wählten, nicht abgelenkt und deshalb aufgrund des Einflusses von Neuheit relativ schnell, aber wegen der Ablenkung in anderen Neuheitsdurchgängen womöglich relativ langsam und haben den früheren Betrag deshalb nicht gewählt, sondern sich stattdessen ablenkungsbedingt für den (möglicherweise salienteren) größeren und später verfügbaren Betrag entschieden. Dieses Entscheidungsmuster könnte insgesamt für einen Reaktionszeiteffekt ausgereicht, jedoch dazu geführt haben, dass der frühere Betrag in den Neuheitsdurchgängen insgesamt nicht häufig genug gewählt wurde, um einen Entscheidungseffekt zu bewirken. Alternativ könnte die Ablenkung in allen Neuheitsdurchgängen gewirkt haben. Der Reaktionszeiteffekt könnte sich dennoch aufgrund dessen gezeigt haben, da die Neuheit in den Fällen, in denen der frühere Betrag gewählt wurde, automatisch reaktionserleichternd gewirkt haben mag (Tarbi, Sun, Holcomb, & Daffner, 2011). Die Ablenkung könnte sich stattdessen auch durch einen ablenkenden Fokus auf die Hintergrundbilder geäußert haben. In diesem Fall könnte eine Ablenkung durch neue Bilder bewirkt haben, dass Neuheit einen Einfluss ausüben konnte und die Probanden somit auf die Neuheit reagierten, da sie sich ablenkungsbedingt auf die neuen Hintergrundbilder fokussierten. Stark Neuheitsstrebende waren möglicherweise in einigen Neuheitsdurchgängen, in denen sie den früheren Betrag gewählt haben, auf diese Weise stärker abgelenkt und demnach aufgrund des Einflusses von Neuheit relativ schnell. In anderen Neuheitsdurchgängen waren sie womöglich weniger abgelenkt und haben somit weniger stark oder gar nicht auf Neuheit reagiert. Deshalb waren sie in diesen Durchgängen möglicherweise relativ langsam und haben den früheren Betrag nicht gewählt, sondern sich stattdessen gemäß ihrer natürlichen Präferenz meistens für den größeren und später verfügbaren Betrag entschieden. Auf diese Weise könnte der Einfluss von Neuheit - ebenso wie bei der obenstehenden alternativen Annahme zur Ablenkungswirkung - für einen Reaktionszeiteffekt ausgereicht haben, jedoch dazu geführt haben, dass der frühere Betrag in den Neuheitsdurchgängen insgesamt nicht häufig genug gewählt wurde, um einen Entscheidungseffekt zu bewirken. Es ist hierbei anzumerken, dass die Annahmen in diesem Abschnitt sehr spekulativ sind, insbesondere da nicht bekannt ist, ob, in welcher Form und in welchem Ausmaß die Probanden abgelenkt waren und ob sich mögliche Ablenkungseffekte interindividuell und intraindividuell von Durchgang zu Durchgang voneinander unterscheiden.

Eine andere Möglichkeit besteht darin, dass die Probanden durch vertraute Bilder weniger abgelenkt waren als durch neue, da neue Hintergrundbilder eine automatische Orientierungsreaktion ausgelöst haben könnten (Sokolov, 1963). In den Neuheitsdurchgängen könnte demzufolge ablenkungsbedingt - entgegen der vermuteten

Neuheitswirkung - vermehrt der spätere Betrag gewählt worden sein, in dem Ausmaß, in dem er auch ohne Neuheitseinfluss gewählt worden wäre, sodass sich kein Entscheidungseffekt ergeben konnte.

Das Zeigen der Hintergrundbilder während der intertemporalen Entscheidungsaufgabe ähnelt einer Situation, in der zwei Aufgaben gleichzeitig ausgeführt werden sollen (Dual-Task-Situation). Da die Probanden bei der zuvor durchgeführten Familiarisierung eine Aufgabe bei gleichzeitiger Präsentation der Bilder durchgeführt hatten, erinnerten sie die Hintergrundbilder während der Entscheidungsphase möglicherweise an diese Aufgabe, was vermuten lässt, dass während der Entscheidungsphase Dual-Task-Interferenzen gewirkt haben könnten. Dual-Task-Interferenzen äußern sich in Leistungseinbußen, welche selbst bei einfachen Aufgaben auftreten können (Pashler, 1994). Diese Leistungsverminderungen können damit begründet werden, dass einem Individuum eine endliche Menge an allgemeinen Ressourcen für die Aufgabenbearbeitung zur Verfügung steht, welche zu einem gegebenen Zeitpunkt von gleichzeitig zu bearbeitenden Aufgaben gemeinsam aufgebraucht wird (Wickens, 2002). Davon ausgehend kann angenommen werden, dass in Dual-Task-Situationen ein Wettbewerb um Verarbeitungsressourcen im Hinblick auf die gleichzeitig zu bearbeitenden Aufgaben auftritt (Desimone & Duncan, 1995), der sich in Interferenzen widerspiegelt. In einer neurophysiologischen Untersuchung konnte bei Affen gezeigt werden, dass zwei gleichzeitig zu bearbeitende Aufgaben dieselben Neuronenpopulationen im LPFC ansprachen und Interferenzen aus dieser Übererregung resultierten (Watanabe & Funahashi, 2014). Ein ähnlicher Mechanismus könnte in Experiment 2 Interferenzen bei der Bearbeitung der intertemporalen Entscheidungsaufgabe bewirkt haben und somit möglicherweise eine Basis für die Erklärung der oben beschriebenen Ablenkungseffekte bieten.

Zur Untersuchung der Aufmerksamkeitsverteilung bei simultaner Darbietung von Neuheit und intertemporalen Entscheidungsoptionen könnten in zukünftigen Studien die Erfassung von Augenbewegungen und post-hoc eine genaue Erfragung des Entscheidungsverhaltens dienen. In zukünftigen Studien sollte die zeitliche Dynamik des Einflusses kontextueller Neuheit durch Variationen des Intervalls zwischen der Neuheitsdarbietung und der intertemporalen Entscheidungsaufgabe eingehender untersucht werden. Für die korrelativen Analysen unter Einbeziehung des Persönlichkeitsmerkmals Streben nach Neuheit wären zudem größere Stichproben wünschenswert. In Studie 2 wurden die prozentualen Entscheidungen der Probanden analysiert. Alternativ hätten mittels eines Computational Models auf Basis der Entscheidungsphasen individuelle k-Parameter pro Proband modelliert werden können. Das hätte anhand einer Softmax-Funktion durchgeführt werden können (Pine et al., 2010).

Einschränkend ist zu erwähnen, dass durch die Methoden von Studie 2 keine Aussagen über Vorgänge im Gehirn getroffen, sondern nur Vermutungen über zugrunde liegende neuronale Prozesse getätigt werden können. Insbesondere Experiment 1 sollte für eine fMRT-Untersuchung adaptiert werden, da in diesem Experiment bedeutsame Entscheidungseffekte unter dem Einfluss kontextueller Neuheit gefunden wurden und so zum Teil überprüft werden könnte, ob die diskutierten Annahmen bezüglich der neuronalen Mechanismen haltbar sind.

5.3. Resümee

In Studie 1 konnte gezeigt werden, dass der Drang, eine langweilige Aufgabe zu vermeiden, die Bereitschaft, für Musik zu zahlen, erhöht und dass der Nucleus caudatus an diesen langweilemotivierten Kaufentscheidungen beteiligt ist. Bei Personen, die bereit sind, höhere Preise zur Langweilevermeidung zu zahlen, wurde zudem eine erhöhte Insula-Aktivität bei Entscheidungen für antizipierte Langweile gefunden. Diese Ergebnisse weisen darauf hin, dass antizipierte zukünftige affektiv-motivationale Zustände bei wertbasierten Entscheidungen berücksichtigt werden. Außerdem zeigen sie einen Mechanismus auf, der Alltagsentscheidungen in Bezug auf Freizeitaktivitäten vermittelt. Ein ähnlicher Mechanismus könnte ebenso extremeren Verhaltensweisen, die mit Langweile in Verbindung stehen, wie impulsivem Überessen oder impulsivem Einkaufen zugrunde liegen. Weiterhin könnte Langweile auch signalisieren, dass in der aktuellen Situation keine motivational bedeutsamen Ereignisse zu erwarten sind und deshalb Entscheidungen in Richtung auf die Exploration potentiell belohnender Ereignisse treiben.

In Studie 2 konnte insgesamt gezeigt werden, dass kontextuelle Neuheit intertemporale Entscheidungen kurzfristig beeinflusst. Menschen scheinen unter dem Einfluss von kurz vor den Entscheidungsoptionen dargebotener Neuheit zukünftige Belohnungen stärker zu diskontieren und sich somit vermehrt für schnell verfügbare Belohnungen zu entscheiden. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass stark Neuheitsstrebende bei gleichzeitiger Präsentation von Neuheit und den Entscheidungsoptionen schnellere Entscheidungen für früher verfügbare Belohnungen treffen. Auf Basis der Ergebnisse früherer Studien lässt sich vermuten, dass diese Neuheitseffekte auf phasischer dopaminerger Aktivität, vermittelt über die SN/VTA und das Striatum, basieren und auf diese Weise eine erhöhte Belohnungsreaktivität bewirken. Die Ergebnisse von Studie 2 erweitern Befunde zur Verstärkung der Belohnungsrepräsentation durch kontextuelle Neuheit, indem sie zeigen, dass kontextuelle Neuheit auch die Belohnungsreaktivität bei intertemporalen Entscheidungen zu erhöhen scheint. Mit der kontextuellen Neuheit wurde ein neuer Faktor entdeckt, der intertemporale finanzielle Entscheidungen beeinflusst.

Zusammenfassend gesagt, demonstriert die vorliegende Arbeit, dass wertbasierte Entscheidungen durch die Antizipation des zukünftigen motivationalen Zustands der Langweile getrieben werden und durch kontextuelle Neuheit beeinflussbar sind. Es wurde experimentell gezeigt, dass die Antizipation der Langweile im Rahmen von Kaufentscheidungen wirkt, und die vorliegenden Ergebnisse geben Hinweise auf einen zugrundeliegenden Mechanismus. Kontextuelle Neuheit wurde als Faktor ermittelt, der intertemporale finanzielle Entscheidungen beeinflusst. Der Erwartungswert ist ein zentrales Konzept bei ökonomischen Entscheidungen. Die vorliegende Arbeit zeigt, dass der negative

Erwartungswert der Antizipation eines zukünftigen aversiven Zustands eine Rolle bei ökonomischen Entscheidungen spielt. Die Vermeidung der antizipierten Langeweile stellt eine rationale Entscheidung dar. Allerdings sind ökonomische Entscheidungen nicht immer rein rational motiviert, wie in der klassischen Erwartungsnutzentheorie angenommen wurde, sondern auch abhängig von verschiedenen Einflüssen, die im Laufe der Entwicklung von der klassischen Ökonomie zur modernen Verhaltensökonomie zunehmend entdeckt wurden, insbesondere seit den Anfängen der neuen Erwartungstheorie. In diesem Rahmen wurde in der vorliegenden Arbeit mit der kontextuellen Neuheit ein neuer kontextueller Einflussfaktor entdeckt. Die Befunde dieser Arbeit leisten insgesamt einen Beitrag zum Verständnis ökonomischer Entscheidungen. Die Arbeit demonstriert die Beteiligung von Strukturen des dopaminergen Systems an der Antizipation des zukünftigen affektiv-motivationalen Zustands der Langeweile bei Kaufentscheidungen. Damit erweitert diese Arbeit neurowissenschaftliche Befunde im Bereich zielgerichteter Entscheidungen. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit ergänzen die Forschung im interdisziplinären Feld der Neuroökonomie und könnten einen Beitrag zur Vorhersage und Verbesserung finanzieller Entscheidungen leisten.

Literaturverzeichnis

Acee, T. W., Kim, H., Kim, H. J., Kim, J.-I., Chu, H.-N. R., Kim, M., Cho, Y., Wicker, F. W., & Group, B. R. (2010). Academic boredom in under-and over-challenging situations. *Contemporary Educational Psychology, 35*(1), 17-27.

Ainslie, G. (1975). Specious reward: a behavioral theory of impulsiveness and impulse control. *Psychological Bulletin, 82*(4), 463-496.

Alba, J. W., & Williams, E. F. (2013). Pleasure principles: A review of research on hedonic consumption. *Journal of Consumer Psychology, 23*(1), 2-18.

Allais, M. (1953). Le comportement de l'homme rationnel devant le risque: Critique des postulats et axiomes de l'école américaine. *Econometrica, 21*(4), 503-546.

Andersson, J. L. R., Hutton, C., Ashburner, J., Turner, R., & Friston, K. (2001). Modeling Geometric Deformations in EPI Time Series. *Neuroimage, 13*(5), 903-919.

Andrade, E. B. (2015). Consumer Emotions. In M. I. Norton, D. D. Rucker & C. Lambertson (Eds.), *The Cambridge Handbook of Consumer Psychology*: (pp. 65-89). Cambridge: Cambridge University Press.

Angeletos, G.-M., Laibson, D., Repetto, A., Tobacman, J., & Weinberg, S. (2001). The hyperbolic consumption model: Calibration, simulation, and empirical evaluation. *The Journal of Economic Perspectives, 15*(3), 47-68.

Anokhin, A. P., Golosheykin, S., Grant, J. D., & Heath, A. C. (2011). Heritability of delay discounting in adolescence: a longitudinal twin study. *Behavior Genetics, 41*(2), 175-183.

Ashe, M. L., Newman, M. G., & Wilson, S. J. (2015). Delay discounting and the use of mindful attention versus distraction in the treatment of drug addiction: a conceptual review. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior, 103*(1), 234-248.

Aston-Jones, G., & Cohen, J. D. (2005). An integrative theory of locus coeruleus-norepinephrine function: adaptive gain and optimal performance. *Annual Review of Neuroscience, 28*, 403-450.

Augustine, A. A., & Larsen, R. J. (2011). Affect regulation and temporal discounting: Interactions between primed, state, and trait affect. *Emotion, 11*(2), 403-412.

Aupperle, R. L., Melrose, A. J., Francisco, A., Paulus, M. P., & Stein, M. B. (2015). Neural substrates of approach-avoidance conflict decision-making. *Human Brain Mapping, 36*(2), 449-462.

Axmacher, N., Cohen, M. X., Fell, J., Haupt, S., Dümpelmann, M., Elger, C. E., Schlaepfer, T. E., Lenartz, D., Sturm, V., & Ranganath, C. (2010). Intracranial EEG correlates of expectancy and memory formation in the human hippocampus and nucleus accumbens. *Neuron, 65*(4), 541-549.

- Bagozzi, R. P., Belanche, D., Casalo, L. V., & Flavián, C. (2016). The Role of Anticipated Emotions in Purchase Intentions. *Psychology & Marketing*, 33(8), 629-645.
- Ball, T., Derix, J., Wentlandt, J., Wieckhorst, B., Speck, O., Schulze-Bonhage, A., & Mutschler, I. (2009). Anatomical specificity of functional amygdala imaging of responses to stimuli with positive and negative emotional valence. *Journal of Neuroscience Methods*, 180(1), 57-70.
- Balleine, B. W., Delgado, M. R., & Hikosaka, O. (2007). The role of the dorsal striatum in reward and decision-making. *The Journal of Neuroscience*, 27(31), 8161-8165.
- Balleine, B. W., & O'Doherty, J. P. (2009). Human and Rodent Homologies in Action Control: Corticostriatal Determinants of Goal-Directed and Habitual Action. *Neuropsychopharmacology*, 35(1), 48-69.
- Bartra, O., McGuire, J. T., & Kable, J. W. (2013). The valuation system: a coordinate-based meta-analysis of BOLD fMRI experiments examining neural correlates of subjective value. *Neuroimage*, 76, 412-427.
- Becker, G. M., DeGroot, M. H., & Marschak, J. (1964). Measuring utility by a single-response sequential method. *Behavioral Science*, 9(3), 226-232.
- Beierholm, U., Guitart-Masip, M., Economides, M., Chowdhury, R., Duzel, E., Dolan, R., & Dayan, P. (2013). Dopamine Modulates Reward-Related Vigor. *Neuropsychopharmacology*, 38(8), 1495-1503.
- Bell, A. J., & Sejnowski, T. J. (1995). An information-maximization approach to blind separation and blind deconvolution. *Neural Computation*, 7(6), 1129-1159.
- Belova, M. A., Paton, J. J., & Salzman, C. D. (2008). Moment-to-moment tracking of state value in the amygdala. *The Journal of Neuroscience*, 28(40), 10023-10030.
- Berlyne, D. E. (1950). Novelty and curiosity as determinants of exploratory behaviour. *British Journal of Psychology. General Section*, 41(1-2), 68-80.
- Bernoulli, D. (1738). Specimen Theoriae Novae de Mensure Sortis. *Cemeter Academia Scientiarum Imperialis Petropolitanae*, 175-192.
- Berti, S., & Schröger, E. (2003). Working memory controls involuntary attention switching: evidence from an auditory distraction paradigm. *European Journal of Neuroscience*, 17(5), 1119-1122.
- Bevins, R. A. (2001). Novelty seeking and reward: Implications for the study of high-risk behaviors. *Current Directions in Psychological Science*, 10(6), 189-193.
- Bevins, R. A., Klebaur, J., & Bardo, M. (1997). Individual differences in response to novelty, amphetamine-induced activity and drug discrimination in rats. *Behavioural Pharmacology*, 8(2-3), 113-123.

- Bickel, W. K., Miller, M. L., Yi, R., Kowal, B. P., Lindquist, D. M., & Pitcock, J. A. (2007). Behavioral and neuroeconomics of drug addiction: Competing neural systems and temporal discounting processes. *Drug and Alcohol Dependence, 90, Supplement 1*, S85-S91.
- Blackburn, R. (1969). Sensation seeking, impulsivity, and psychopathic personality. *Journal of Consulting and Clinical Psychology, 33*(5), 571-574.
- Bódi, N., Kéri, S., Nagy, H., Moustafa, A., Myers, C. E., Daw, N., Dibó, G., Takáts, A., Bereczki, D., & Gluck, M. A. (2009). Reward-learning and the novelty-seeking personality: a between-and within-subjects study of the effects of dopamine agonists on young Parkinson's patients. *Brain, 132*(9), 2385-2395.
- Boyden, E. S., Zhang, F., Bamberg, E., Nagel, G., & Deisseroth, K. (2005). Millisecond-timescale, genetically targeted optical control of neural activity. *Nature Neuroscience, 8*(9), 1263-1268.
- Breiter, H. C., Aharon, I., Kahneman, D., Dale, A., & Shizgal, P. (2001). Functional imaging of neural responses to expectancy and experience of monetary gains and losses. *Neuron, 30*(2), 619-639.
- Brett, M., Anton, J.-L., Valabregue, R., & Poline, J.-B. (2002). Region of interest analysis using the MarsBar toolbox for SPM 99. *Neuroimage, 16*(2), S497.
- Bruni, L., & Guala, F. (2001). Vilfredo Pareto and the epistemological foundations of choice theory. *History of Political Economy, 33*(1), 21-49.
- Bruni, L., & Sugden, R. (2007). The road not taken: how psychology was removed from economics, and how it might be brought back. *The Economic Journal, 117*(516), 146-173.
- Bunzeck, N., & Düzel, E. (2006). Absolute Coding of Stimulus Novelty in the Human Substantia Nigra/VTA. *Neuron, 51*(3), 369-379.
- Bunzeck, N., Guitart-Masip, M., Dolan, R. J., & Düzel, E. (2011). Contextual Novelty Modulates the Neural Dynamics of Reward Anticipation: Contextual novelty and reward signals. *The Journal of Neuroscience, 31*(36), 12816-12822.
- Bush, R. R., & Mosteller, F. (1951). A mathematical model for simple learning. *Psychological Review, 58*(5), 313-323.
- Cai, X., Kim, S., & Lee, D. (2011). Heterogeneous coding of temporally discounted values in the dorsal and ventral striatum during intertemporal choice. *Neuron, 69*(1), 170-182.
- Calhoun, V., Adali, T., Pearlson, G., & Pekar, J. (2001). A method for making group inferences from functional MRI data using independent component analysis. *Human Brain Mapping, 14*(3), 140-151.
- Calhoun, V. D., & Adali, T. (2006). Unmixing fMRI with independent component analysis. *Engineering in Medicine and Biology Magazine, 25*(2), 79-90.

- Calhoun, V. D., Kiehl, K. A., & Pearlson, G. D. (2008). Modulation of temporally coherent brain networks estimated using ICA at rest and during cognitive tasks. *Human Brain Mapping, 29*(7), 828-838.
- Camerer, C. F. (2007). Neuroeconomics: using neuroscience to make economic predictions. *The Economic Journal, 117*(519), C26-C42.
- Carter, R. M., Meyer, J. R., & Huettel, S. A. (2010). Functional neuroimaging of intertemporal choice models: A review. *Journal of Neuroscience, Psychology, and Economics, 3*(1), 27-45.
- Chang, L. J., Yarkoni, T., Khaw, M. W., & Sanfey, A. G. (2013). Decoding the Role of the Insula in Human Cognition: Functional Parcellation and Large-Scale Reverse Inference. *Cerebral Cortex, 23*(3), 739-749.
- Chib, V. S., Rangel, A., Shimojo, S., & O'Doherty, J. P. (2009). Evidence for a common representation of decision values for dissimilar goods in human ventromedial prefrontal cortex. *Journal of Neuroscience, 29*(39), 12315-12320.
- Chikama, M., McFarland, N. R., Amaral, D. G., & Haber, S. N. (1997). Insular cortical projections to functional regions of the striatum correlate with cortical cytoarchitectonic organization in the primate. *The Journal of Neuroscience, 17*(24), 9686-9705.
- Clithero, J. A., & Rangel, A. (2014). Informatic parcellation of the network involved in the computation of subjective value. *Social Cognitive and Affective Neuroscience, 9*(9), 1289-1302.
- Cloninger, C. R. (1986). A unified biosocial theory of personality and its role in the development of anxiety states. *Psychiatric Developments, 4*(3), 167-226.
- Cloninger, C. R. (1987). A systematic method for clinical description and classification of personality variants. A proposal. *Archives of General Psychiatry, 44*(6), 573-588.
- Cloninger, C. R., Przybeck, T. R., & Svrakic, D. M. (1991). The Tridimensional Personality Questionnaire: U.S. normative data. *Psychological Reports, 69*(3 Pt 1), 1047-1057.
- Cohen, J. Y., Haesler, S., Vong, L., Lowell, B. B., & Uchida, N. (2012). Neuron-type-specific signals for reward and punishment in the ventral tegmental area. *Nature, 482*(7383), 85-88.
- Colibazzi, T., Posner, J., Wang, Z., Gorman, D., Gerber, A., Yu, S., Zhu, H., Kangarlu, A., Duan, Y., & Russell, J. A. (2010). Neural systems subserving valence and arousal during the experience of induced emotions. *Emotion, 10*(3), 377-389.
- Cools, R. (2006). Dopaminergic modulation of cognitive function-implications for L-DOPA treatment in Parkinson's disease. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 30*(1), 1-23.
- Cools, R., Nakamura, K., & Daw, N. D. (2011). Serotonin and dopamine: unifying affective, activational, and decision functions. *Neuropsychopharmacology, 36*(1), 98-113.

- Correa, N., Adali, T., Li, Y.-O., & Calhoun, V. D. (2005). *Comparison of blind source separation algorithms for fMRI using a new Matlab toolbox: GIFT*. Paper presented at the IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP'05).
- Costa, V. D., Tran, V. L., Turchi, J., & Averbeck, B. B. (2014). Dopamine modulates novelty seeking behavior during decision making. *Behavioral Neuroscience, 128*(5), 556-566.
- Costafreda, S. G., Brammer, M. J., David, A. S., & Fu, C. H. (2008). Predictors of amygdala activation during the processing of emotional stimuli: a meta-analysis of 385 PET and fMRI studies. *Brain Research Reviews, 58*(1), 57-70.
- Craig, A. D. (2009). How do you feel -- now? The anterior insula and human awareness. *Nature Reviews Neuroscience, 10*(1), 59-70.
- Critchley, H. D. (2005). Neural mechanisms of autonomic, affective, and cognitive integration. *The Journal of Comparative Neurology, 493*(1), 154-166.
- Croxson, P. L., Walton, M. E., O'Reilly, J. X., Behrens, T. E., & Rushworth, M. F. (2009). Effort-based cost-benefit valuation and the human brain. *Journal of Neuroscience, 29*(14), 4531-4541.
- Cryder, C. E., Lerner, J. S., Gross, J. J., & Dahl, R. E. (2008). Misery is not miserly: sad and self-focused individuals spend more. *Psychological Science, 19*(6), 525-530.
- Dale, A. M. (1999). Optimal experimental design for event-related fMRI. *Human Brain Mapping, 8*(2-3), 109-114.
- Danckert, J., & Merrifield, C. (2016). Boredom, sustained attention and the default mode network. *Experimental Brain Research, 1-12*.
- Danckert, J. A., & Allman, A.-A. A. (2005). Time flies when you're having fun: Temporal estimation and the experience of boredom. *Brain and Cognition, 59*(3), 236-245.
- Davidson, M. C., Horvitz, J. C., Tottenham, N., Fossella, J. A., Watts, R., Ulug, A. M., & Casey, B. J. (2004). Differential cingulate and caudate activation following unexpected nonrewarding stimuli. *Neuroimage, 23*(3), 1039-1045.
- De Martino, B., Camerer, C. F., & Adolphs, R. (2010). Amygdala damage eliminates monetary loss aversion. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 107*(8), 3788-3792.
- De Martino, B., Harrison, N. A., Knafo, S., Bird, G., & Dolan, R. J. (2008). Explaining enhanced logical consistency during decision making in autism. *The Journal of Neuroscience, 28*(42), 10746-10750.
- De Martino, B., Kumaran, D., Seymour, B., & Dolan, R. J. (2006). Frames, biases, and rational decision-making in the human brain. *Science, 313*(5787), 684-687.

- de Wit, H., Enggasser, J. L., & Richards, J. B. (2002). Acute administration of d-amphetamine decreases impulsivity in healthy volunteers. *Neuropsychopharmacology*, *27*(5), 813-825.
- Delgado, M., Locke, H., Stenger, V., & Fiez, J. (2003). Dorsal striatum responses to reward and punishment: effects of valence and magnitude manipulations. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, *3*(1), 27-38.
- Delgado, M. R. (2007). Reward-related responses in the human striatum. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1104*(1), 70-88.
- Delgado, M. R., Nystrom, L. E., Fissell, C., Noll, D., & Fiez, J. A. (2000). Tracking the hemodynamic responses to reward and punishment in the striatum. *Journal of Neurophysiology*, *84*(6), 3072-3077.
- Delgado, M. R., Stenger, V. A., & Fiez, J. A. (2004). Motivation-dependent responses in the human caudate nucleus. *Cerebral Cortex*, *14*(9), 1022-1030.
- Desimone, R., & Duncan, J. (1995). Neural mechanisms of selective visual attention. *Annual Review of Neuroscience*, *18*(1), 193-222.
- Dittmar, H., & Drury, J. (2000). Self-image – is it in the bag? A qualitative comparison between “ordinary” and “excessive” consumers. *Journal of Economic Psychology*, *21*(2), 109-142.
- Dixon, M. R., Jacobs, E. A., & Sanders, S. (2006). Contextual control of delay discounting by pathological gamblers. *Journal of Applied Behavior Analysis*, *39*(4), 413-422.
- Dorris, M. C., & Glimcher, P. W. (2004). Activity in posterior parietal cortex is correlated with the relative subjective desirability of action. *Neuron*, *44*(2), 365-378.
- Driver, J. (2001). A selective review of selective attention research from the past century. *British Journal of Psychology*, *92*(1), 53-78.
- Duzel, E., Bunzeck, N., Guitart-Masip, M., Wittmann, B., Schott, B. H., & Tobler, P. N. (2009). Functional imaging of the human dopaminergic midbrain. *Trends in Neurosciences*, *32*(6), 321-328.
- Eastwood, J. D., Frischen, A., Fenske, M. J., & Smilek, D. (2012). The Unengaged Mind: Defining Boredom in Terms of Attention. *Perspectives on Psychological Science*, *7*(5), 482-495.
- Ebstein, R. P., Novick, O., Umansky, R., Priel, B., Osher, Y., Blaine, D., Bennett, E. R., Nemanov, L., Katz, M., & Belmaker, R. H. (1996). Dopamine D4 receptor (D4DR) exon III polymorphism associated with the human personality trait of novelty seeking. *Nature Genetics*, *12*(1), 78-80.

- Eckert, T., Sailer, M., Kaufmann, J., Schrader, C., Peschel, T., Bodammer, N., Heinze, H.-J., & Schoenfeld, M. A. (2004). Differentiation of idiopathic Parkinson's disease, multiple system atrophy, progressive supranuclear palsy, and healthy controls using magnetization transfer imaging. *Neuroimage*, 21(1), 229-235.
- Elliott, R., Friston, K. J., & Dolan, R. J. (2000). Dissociable neural responses in human reward systems. *The Journal of Neuroscience*, 20(16), 6159-6165.
- Ellsberg, D. (1961). Risk, ambiguity, and the Savage axioms. *The Quarterly Journal of Economics*, 75(4), 643-669.
- Epstein, L. G. (1999). A definition of uncertainty aversion. *The Review of Economic Studies*, 66(3), 579-608.
- Escera, C., Yago, E., & Alho, K. (2001). Electrical responses reveal the temporal dynamics of brain events during involuntary attention switching. *European Journal of Neuroscience*, 14(5), 877-883.
- Evans, T. A., & Beran, M. J. (2007). Chimpanzees use self-distraction to cope with impulsivity. *Biology Letters*, 3(6), 599-602.
- Fahlman, S. A., Mercer-Lynn, K. B., Flora, D. B., & Eastwood, J. D. (2013). Development and validation of the multidimensional state boredom scale. *Assessment*, 20(1), 68-85.
- Farmer, R., & Sundberg, N. D. (1986). Boredom Proneness--The Development and Correlates of a New Scale. *Journal of Personality Assessment*, 50(1), 4-17.
- Fenker, D. B., Frey, J. U., Schuetze, H., Heipertz, D., Heinze, H.-J., & Duzel, E. (2008). Novel scenes improve recollection and recall of words. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 20(7), 1250-1265.
- Ferrari, V., De Cesarei, A., MASTRIA, S., Lugli, L., Baroni, G., Nicoletti, R., & Codispoti, M. (2016). Novelty and emotion: Pupillary and cortical responses during viewing of natural scenes. *Biological Psychology*, 113, 75-82.
- Field, A. (2013). *Discovering statistics using IBM SPSS statistics*. London: Sage.
- Figner, B., Knoch, D., Johnson, E. J., Krosch, A., Lisanby, S. H., Fehr, E., & Weber, E. U. (2010). Lateral prefrontal cortex and self-control in intertemporal choice. *Nature Neuroscience*, 13(5), 538-539.
- Fishburn, P. C., & Rubinstein, A. (1982). Time preference. *International Economic Review*, 23, 677-694.
- Fisher, I. (1892). Mathematical Investigations in the Theory of Value and Prices. *Transactions of the Connecticut Academy*, 9, 1-124.
- FitzGerald, T. H., Seymour, B., & Dolan, R. J. (2009). The role of human orbitofrontal cortex in value comparison for incommensurable objects. *Journal of Neuroscience*, 29(26), 8388-8395.

- Floresco, S. B., West, A. R., Ash, B., Moore, H., & Grace, A. A. (2003). Afferent modulation of dopamine neuron firing differentially regulates tonic and phasic dopamine transmission. *Nature Neuroscience*, 6(9), 968-973.
- Fogel, J., & Schneider, M. (2010). Understanding designer clothing purchases over the internet. *Journal of Fashion Marketing and Management: An International Journal*, 14(3), 367-396.
- Furl, N., & Averbeck, B. B. (2011). Parietal Cortex and Insula Relate to Evidence Seeking Relevant to Reward-Related Decisions. *The Journal of Neuroscience*, 31(48), 17572-17582.
- Geuens, M., Vantomme, D., & Brengman, M. (2004). Developing a typology of airport shoppers. *Tourism Management*, 25(5), 615-622.
- Gilbert, D. T., Gill, M. J., & Wilson, T. D. (2002). The Future Is Now: Temporal Correction in Affective Forecasting. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 88(1), 430-444.
- Gilbert, D. T., Pinel, E. C., Wilson, T. D., Blumberg, S. J., & Wheatley, T. P. (1998). Immune neglect: A source of durability bias in affective forecasting. *Journal of Personality and Social Psychology*, 75(3), 617-638.
- Gjedde, A., Kumakura, Y., Cumming, P., Linnet, J., & Møller, A. (2010). Inverted-U-shaped correlation between dopamine receptor availability in striatum and sensation seeking. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(8), 3870-3875.
- Gläscher, J. (2009). Visualization of group inference data in functional neuroimaging. *Neuroinformatics*, 7(1), 73-82.
- Gläscher, J., Hampton, A. N., & O'Doherty, J. P. (2009). Determining a role for ventromedial prefrontal cortex in encoding action-based value signals during reward-related decision making. *Cerebral Cortex*, 19(2), 483-495.
- Glimcher, P. W. (2010). *Foundations of neuroeconomic analysis*. Oxford: Oxford University Press.
- Glimcher, P. W., & Rustichini, A. (2004). Neuroeconomics: the consilience of brain and decision. *Science*, 306(5695), 447-452.
- Golimbet, V., Alfimova, M., Gritsenko, I., & Ebstein, R. (2007). Relationship between dopamine system genes and extraversion and novelty seeking. *Neuroscience and Behavioral Physiology*, 37(6), 601-606.
- Goto, Y., & Grace, A. A. (2008). Limbic and cortical information processing in the nucleus accumbens. *Trends in Neurosciences*, 31(11), 552-558.
- Grabenhorst, F., & Rolls, E. T. (2011). Value, pleasure and choice in the ventral prefrontal cortex. *Trends in Cognitive Sciences*, 15(2), 56-67.

- Grace, A. A., & Bunney, B. S. (1980). Nigral dopamine neurons: intracellular recording and identification with L-dopa injection and histofluorescence. *Science*, *210*(4470), 654-656.
- Guitart-Masip, M., Bunzeck, N., Stephan, K. E., Dolan, R. J., & Düzel, E. (2010a). Contextual novelty changes reward representations in the striatum. *The Journal of Neuroscience*, *30*(5), 1721-1726.
- Guitart-Masip, M., Talmi, D., & Dolan, R. (2010b). Conditioned associations and economic decision biases. *Neuroimage*, *53*(1), 206-214.
- Haber, S. N., & Behrens, T. E. J. (2014). The Neural Network Underlying Incentive-Based Learning: Implications for Interpreting Circuit Disruptions in Psychiatric Disorders. *Neuron*, *83*(5), 1019-1039.
- Haber, S. N., & Knutson, B. (2010). The reward circuit: linking primate anatomy and human imaging. *Neuropsychopharmacology*, *35*(1), 4-26.
- Hagen, O. (1979). Towards a positive theory of preferences under risk. In M. Allais & O. Hagen (Eds.), *Expected Utility Hypotheses and the Allais Paradox* (pp. 271-302). Dordrecht, The Netherlands: D. Reidel Publishing Company.
- Hamilton, J. A., Haier, R. J., & Buchsbaum, M. S. (1984). Intrinsic enjoyment and boredom coping scales: Validation with personality, evoked potential and attention measures. *Personality and Individual Differences*, *5*(2), 183-193.
- Hare, T. A., Camerer, C. F., & Rangel, A. (2009). Self-control in decision-making involves modulation of the vmPFC valuation system. *Science*, *324*(5927), 646-648.
- Harle, K. M., & Sanfey, A. G. (2007). Incidental sadness biases social economic decisions in the Ultimatum Game. *Emotion*, *7*(4), 876-881.
- Harley, C. W. (1987). A role for norepinephrine in arousal, emotion and learning?: limbic modulation by norepinephrine and the Kety hypothesis. *Progress in Neuro-psychopharmacology and Biological Psychiatry*, *11*(4), 419-458.
- Haruno, M., & Kawato, M. (2006). Different neural correlates of reward expectation and reward expectation error in the putamen and caudate nucleus during stimulus-action-reward association learning. *Journal of Neurophysiology*, *95*(2), 948-959.
- Havermans, R. C., Vancleef, L., Kalamatianos, A., & Nederkoorn, C. (2015). Eating and inflicting pain out of boredom. *Appetite*, *85*, 52-57.
- Havranek, M. M., Hulka, L. M., Tasiudi, E., Eisenegger, C., Vonmoos, M., Preller, K. H., Mössner, R., Baumgartner, M. R., Seifritz, E., & Grünblatt, E. (2015). α 2A-Adrenergic receptor polymorphisms and mRNA expression levels are associated with delay discounting in cocaine users [published online ahead of print November 8]. *Addiction Biology*.
- Hayes, D. J., Duncan, N. W., Xu, J., & Northoff, G. (2014). A comparison of neural responses to appetitive and aversive stimuli in humans and other mammals. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *45*(0), 350-368.

- Hayes, S. C., Wilson, K. G., Gifford, E. V., Follette, V. M., & Strosahl, K. (1996). Experiential avoidance and behavioral disorders: A functional dimensional approach to diagnosis and treatment. *Journal of Consulting and Clinical Psychology, 64*(6), 1152-1168.
- Heukelom, F. (2015). A history of the Allais paradox. *The British Journal for the History of Science, 48*(01), 147-169.
- Holbrook, M. B., & Hirschman, E. C. (1982). The experiential aspects of consumption: Consumer fantasies, feelings, and fun. *Journal of Consumer Research, 9*(2), 132-140.
- Hooks, M. S., Jones, G. H., Smith, A. D., Neill, D. B., & Justice, J. B. (1991). Response to novelty predicts the locomotor and nucleus accumbens dopamine response to cocaine. *Synapse, 9*(2), 121-128.
- Horvitz, J. (2000). Mesolimbocortical and nigrostriatal dopamine responses to salient non-reward events. *Neuroscience, 96*(4), 651-656.
- Houthakker, H. S. (1950). Revealed preference and the utility function. *Economica, 17*(66), 159-174.
- Hsu, M., Bhatt, M., Adolphs, R., Tranel, D., & Camerer, C. F. (2005). Neural systems responding to degrees of uncertainty in human decision-making. *Science, 310*(5754), 1680-1683.
- Hsu, M., Krajbich, I., Zhao, C., & Camerer, C. F. (2009). Neural response to reward anticipation under risk is nonlinear in probabilities. *The Journal of Neuroscience, 29*(7), 2231-2237.
- Huettel, S. A., Stowe, C. J., Gordon, E. M., Warner, B. T., & Platt, M. L. (2006). Neural signatures of economic preferences for risk and ambiguity. *Neuron, 49*(5), 765-775.
- Hughes, R. N. (2007). Neotic preferences in laboratory rodents: issues, assessment and substrates. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 31*(3), 441-464.
- Hunter, J. A., Dyer, K. J., Cribbie, R. A., & Eastwood, J. D. (2015). Exploring the utility of the Multidimensional State Boredom Scale. *European Journal of Psychological Assessment, 32*, 241-250.
- Hutchison, K. E., Wood, M. D., & Swift, R. (1999). Personality factors moderate subjective and psychophysiological responses to d-amphetamine in humans. *Experimental and Clinical Psychopharmacology, 7*(4), 493-501.
- Hutton, C., Bork, A., Josephs, O., Deichmann, R., Ashburner, J., & Turner, R. (2002). Image Distortion Correction in fMRI: A Quantitative Evaluation. *Neuroimage, 16*(1), 217-240.
- Inzlicht, M., & Schmeichel, B. J. (2012). What is ego depletion? Toward a mechanistic revision of the resource model of self-control. *Perspectives on Psychological Science, 7*(5), 450-463.

- Iso-Ahola, S. E., & Weissinger, E. (1990). Perceptions of boredom in leisure: Conceptualization, reliability and validity of the leisure boredom scale. *Journal of Leisure Research*, 22(1), 1-17.
- Itti, L., & Koch, C. (2000). A saliency-based search mechanism for overt and covert shifts of visual attention. *Vision Research*, 40(10), 1489-1506.
- Janak, P. H., & Tye, K. M. (2015). From circuits to behaviour in the amygdala. *Nature*, 517(7534), 284-292.
- Jenison, R. L., Rangel, A., Oya, H., Kawasaki, H., & Howard, M. A. (2011). Value encoding in single neurons in the human amygdala during decision making. *The Journal of Neuroscience*, 31(1), 331-338.
- Jenkinson, M., Beckmann, C. F., Behrens, T. E., Woolrich, M. W., & Smith, S. M. (2012). FSL. *Neuroimage*, 62(2), 782-790.
- Jog, M. S., Kubota, Y., Connolly, C. I., Hillegaart, V., & Graybiel, A. M. (1999). Building neural representations of habits. *Science*, 286(5445), 1745-1749.
- Joshi, S., Li, Y., Kalwani, R. M., & Gold, J. I. (2016). Relationships between pupil diameter and neuronal activity in the locus coeruleus, colliculi, and cingulate cortex. *Neuron*, 89(1), 221-234.
- Jupp, B., & Dalley, J. W. (2014). Behavioral endophenotypes of drug addiction: Etiological insights from neuroimaging studies. *Neuropharmacology*, 76, Part B(0), 487-497.
- Kable, J. W., & Glimcher, P. W. (2007). The neural correlates of subjective value during intertemporal choice. *Nature Neuroscience*, 10(12), 1625-1633.
- Kable, J. W., & Glimcher, P. W. (2010). An "as soon as possible" effect in human intertemporal decision making: behavioral evidence and neural mechanisms. *Journal of Neurophysiology*, 103(5), 2513-2531.
- Kahneman, D., Knetsch, J. L., & Thaler, R. H. (1991). Anomalies: The endowment effect, loss aversion, and status quo bias. *The Journal of Economic Perspectives*, 5(1), 193-206.
- Kahneman, D., & Tversky, A. (1979). Prospect theory: An analysis of decision under risk. *Econometrica*, 47(2), 263-291.
- Kakade, S., & Dayan, P. (2002). Dopamine: generalization and bonuses. *Neural Networks*, 15(4), 549-559.
- Keuken, M., Bazin, P.-L., Crown, L., Hootsmans, J., Laufer, A., Müller-Axt, C., Sier, R., van der Putten, E., Schäfer, A., & Turner, R. (2014). Quantifying inter-individual anatomical variability in the subcortex using 7T structural MRI. *Neuroimage*, 94, 40-46.
- Kienast, T., Hariri, A. R., Schlagenhaut, F., Wrase, J., Sterzer, P., Buchholz, H. G., Smolka, M. N., Gründer, G., Cumming, P., & Kumakura, Y. (2008). Dopamine in amygdala gates limbic processing of aversive stimuli in humans. *Nature Neuroscience*, 11(12), 1381-1382.

- Kim, Hyoung F., & Hikosaka, O. (2013). Distinct Basal Ganglia Circuits Controlling Behaviors Guided by Flexible and Stable Values. *Neuron*, 79(5), 1001-1010.
- Kim, S., Bobeica, I., Gamo, N. J., Arnsten, A. F., & Lee, D. (2012). Effects of α -2A adrenergic receptor agonist on time and risk preference in primates. *Psychopharmacology*, 219(2), 363-375.
- Knight, R. T. (1996). Contribution of human hippocampal region to novelty detection. *Nature*, 383(6597), 256-259.
- Knutson, B., Adams, C. M., Fong, G. W., & Hommer, D. (2001a). Anticipation of increasing monetary reward selectively recruits nucleus accumbens. *Journal of Neuroscience*, 21(16), RC159.
- Knutson, B., Fong, G. W., Adams, C. M., Varner, J. L., & Hommer, D. (2001b). Dissociation of reward anticipation and outcome with event-related fMRI. *Neuroreport*, 12(17), 3683-3687.
- Knutson, B., Rick, S., Wimmer, G. E., Prelec, D., & Loewenstein, G. (2007). Neural predictors of purchases. *Neuron*, 53(1), 147-156.
- Knutson, B., Taylor, J., Kaufman, M., Peterson, R., & Glover, G. (2005). Distributed neural representation of expected value. *The Journal of Neuroscience*, 25(19), 4806-4812.
- Knutson, B., Westdorp, A., Kaiser, E., & Hommer, D. (2000). FMRI visualization of brain activity during a monetary incentive delay task. *Neuroimage*, 12(1), 20-27.
- Knutson, B., Wimmer, G. E., Rick, S., Hollon, N. G., Prelec, D., & Loewenstein, G. (2008). Neural antecedents of the endowment effect. *Neuron*, 58(5), 814-822.
- Koball, A. M., Meers, M. R., Storfer-Isser, A., Domoff, S. E., & Musher-Eizenman, D. R. (2012). Eating when bored: Revision of the Emotional Eating Scale with a focus on boredom. *Health Psychology*, 31(4), 521-524.
- Kobayashi, S., & Schultz, W. (2014). Reward contexts extend dopamine signals to unrewarded stimuli. *Current Biology*, 24(1), 56-62.
- Koffarnus, M. N., Jarmolowicz, D. P., Mueller, E. T., & Bickel, W. K. (2013). Changing delay discounting in the light of the competing neurobehavioral decision systems theory: a review. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 99(1), 32-57.
- Koopmans, T. C. (1960). Stationary ordinal utility and impatience. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 287-309.
- Krebs, R., Heipertz, D., Schuetze, H., & Duzel, E. (2011). Novelty increases the mesolimbic functional connectivity of the substantia nigra/ventral tegmental area (SN/VTA) during reward anticipation: evidence from high-resolution fMRI. *Neuroimage*, 58(2), 647-655.
- Krebs, R. M., Schott, B. H., & Düzel, E. (2009). Personality traits are differentially associated with patterns of reward and novelty processing in the human substantia nigra/ventral tegmental area. *Biological Psychiatry*, 65(2), 103-110.

- Kreps, D. M. (1990). *A course in microeconomic theory*. New York: Harvester Wheatsheaf
- Kuczenski, R., & Segal, D. S. (1997). Effects of methylphenidate on extracellular dopamine, serotonin, and norepinephrine: comparison with amphetamine. *Journal of Neurochemistry*, *68*(5), 2032-2037.
- Kuczenski, R., Segal, D. S., Leith, N., & Applegate, C. (1987). Effects of amphetamine, methylphenidate, and apomorphine on regional brain serotonin and 5-hydroxyindole acetic acid. *Psychopharmacology*, *93*(3), 329-335.
- Kuhnen, C. M., & Knutson, B. (2005). The neural basis of financial risk taking. *Neuron*, *47*(5), 763-770.
- Kumaran, D., & Maguire, E. A. (2007). Which computational mechanisms operate in the hippocampus during novelty detection? *Hippocampus*, *17*(9), 735-748.
- Laibson, D. (1997). Golden eggs and hyperbolic discounting. *The Quarterly Journal of Economics*, *112*(2), 443-478.
- Lancaster, K. (1963). An axiomatic theory of consumer time preference. *International Economic Review*, *4*(2), 221-231.
- Langner, R., & Eickhoff, S. B. (2013). Sustaining attention to simple tasks: a meta-analytic review of the neural mechanisms of vigilant attention. *Psychological Bulletin*, *139*(4), 870-900.
- Lau, B., & Glimcher, P. W. (2007). Action and outcome encoding in the primate caudate nucleus. *The Journal of Neuroscience*, *27*(52), 14502-14514.
- Lau, B., & Glimcher, P. W. (2008). Value representations in the primate striatum during matching behavior. *Neuron*, *58*(3), 451-463.
- LeDoux, J. E. (1995). Emotion: Clues from the brain. *Annual Review of Psychology*, *46*, 209-235.
- Lee, T. (1986). Toward the development and validation of a measure of job boredom. *Manhattan College Journal of Business*, *15*(1), 22-28.
- Legault, M., & Wise, R. A. (2001). Novelty-evoked elevations of nucleus accumbens dopamine: dependence on impulse flow from the ventral subiculum and glutamatergic neurotransmission in the ventral tegmental area. *European Journal of Neuroscience*, *13*(4), 819-828.
- Leiner, D. J. (2014). SoSci Survey (Version 2.4.00-i) [Computer Software]. Available from <https://www.soscisurvey.de>.
- Lempert, K. M., Glimcher, P. W., & Phelps, E. A. (2015). Emotional arousal and discount rate in intertemporal choice are reference dependent. *Journal of Experimental Psychology: General*, *144*(2), 366-373.

- Lerner, J. S., Small, D. A., & Loewenstein, G. (2004). Heart strings and purse strings: Carryover effects of emotions on economic decisions. *Psychological Science, 15*(5), 337-341.
- Lesch, K.-P., Bengel, D., Heils, A., Sabol, S. Z., Greenberg, B. D., Petri, S., Benjamin, J., Mueller, C. R., Hamer, D. H., & Murphy, D. L. (1996). Association of anxiety-related traits with a polymorphism in the serotonin transporter gene regulatory region. *Science, 274*(5292), 1527-1531.
- Levy, D. J., & Glimcher, P. W. (2011). Comparing apples and oranges: using reward-specific and reward-general subjective value representation in the brain. *The Journal of Neuroscience, 31*(41), 14693-14707.
- Levy, D. J., & Glimcher, P. W. (2012). The root of all value: a neural common currency for choice. *Current Opinion in Neurobiology, 22*(6), 1027-1038.
- Levy, I., Snell, J., Nelson, A. J., Rustichini, A., & Glimcher, P. W. (2010). Neural representation of subjective value under risk and ambiguity. *Journal of Neurophysiology, 103*(2), 1036-1047.
- Li, X. (2008). The effects of appetitive stimuli on out-of-domain consumption impatience. *Journal of Consumer Research, 34*(5), 649-656.
- Liberzon, I., Phan, K. L., Decker, L. R., & Taylor, S. F. (2003). Extended amygdala and emotional salience: a PET activation study of positive and negative affect. *Neuropsychopharmacology, 28*(4), 726-733.
- Lim, S.-L., O'Doherty, J. P., & Rangel, A. (2011). The decision value computations in the vmPFC and striatum use a relative value code that is guided by visual attention. *The Journal of Neuroscience, 31*(37), 13214-13223.
- Lisman, J. E., & Grace, A. A. (2005). The hippocampal-VTA loop: controlling the entry of information into long-term memory. *Neuron, 46*(5), 703-713.
- Liu, L., Feng, T., Wang, J., & Li, H. (2012). The neural dissociation of subjective valuation from choice processes in intertemporal choice. *Behavioural Brain Research, 231*(1), 40-47.
- Ljungberg, T., Apicella, P., & Schultz, W. (1992). Responses of monkey dopamine neurons during learning of behavioral reactions. *Journal of Neurophysiology, 67*(1), 145-163.
- Lodge, D., & Grace, A. (2006). The laterodorsal tegmentum is essential for burst firing of ventral tegmental area dopamine neurons. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 103*(13), 5167-5172.
- Loewenstein, G., Rick, S., & Cohen, J. D. (2008). Neuroeconomics. *Annual Review of Psychology, 59*, 647-672.
- Luo, S., Ainslie, G., Pollini, D., Giragosian, L., & Monterosso, J. R. (2012). Moderators of the association between brain activation and farsighted choice. *Neuroimage, 59*(2), 1469-1477.

- MacCrimmon, K. R., & Larsson, S. (1979). Utility theory: Axioms versus 'paradoxes'. In M. Allais & O. Hagen (Eds.), *Expected utility hypotheses and the Allais paradox* (pp. 333-409). Dordrecht, The Netherlands: Reidel.
- Magen, E., Dweck, C. S., & Gross, J. J. (2008). The hidden-zero effect representing a single choice as an extended sequence reduces impulsive choice. *Psychological Science, 19*(7), 648-649.
- Mano, H. (1999). The influence of pre-existing negative affect on store purchase intentions. *Journal of Retailing, 75*(2), 149-172.
- Mathiak, K. A., Klasen, M., Zvyagintsev, M., Weber, R., & Mathiak, K. (2013). Neural networks underlying affective states in a multimodal virtual environment: contributions to boredom. *Frontiers in Human Neuroscience, 7*, 820.
- Matthies, S., Philipsen, A., & Svaldi, J. (2012). Risky decision making in adults with ADHD. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry, 43*(3), 938-946.
- Mayer, J. S., Kim, J., & Park, S. (2011). Enhancing visual working memory encoding: The role of target novelty. *Visual Cognition, 19*(7), 863-885.
- Mazaika, P. K., Hoefft, F., Glover, G. H., & Reiss, A. L. (2009). Methods and Software for fMRI Analysis of Clinical Subjects. *Neuroimage, 47, Supplement 1*(0), S58.
- Mazur, J. E. (1987). An adjusting procedure for studying delayed reinforcement. In M. M. Commons, JE.; Nevin, JA, Rachlin H (Ed.), *Quantitative analyses of behavior: Vol 5 The effect of delay and of intervening events on reinforcement value* (pp. 55-73). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- McClure, S. M., Laibson, D. I., Loewenstein, G., & Cohen, J. D. (2004). Separate neural systems value immediate and delayed monetary rewards. *Science, 306*(5695), 503-507.
- Mccourt, W. F., Gurrera, R. J., & Cutter, H. S. (1993). Sensation seeking and novelty seeking. *The Journal of Nervous and Mental Disease, 181*(5), 309-312.
- McNamee, D., Liljeholm, M., Zika, O., & O'Doherty, J. P. (2015). Characterizing the Associative Content of Brain Structures Involved in Habitual and Goal-Directed Actions in Humans: A Multivariate fMRI Study. *The Journal of Neuroscience, 35*(9), 3764-3771.
- Mellers, B., Schwartz, A., & Ritov, I. (1999). Emotion-based choice. *Journal of Experimental Psychology: General, 128*(3), 332-345.
- Mellers, B. A., Schwartz, A., Ho, K., & Ritov, I. (1997). Decision Affect Theory: Emotional Reactions to the Outcomes of Risky Options. *Psychological Science, 8*(6), 423-429.
- Mercer-Lynn, K. B., Flora, D. B., Fahlman, S. A., & Eastwood, J. D. (2013). The Measurement of Boredom: Differences Between Existing Self-Report Scales. *Assessment, 20*(5), 585-596.

- Merrifield, C., & Danckert, J. (2014). Characterizing the psychophysiological signature of boredom. *Experimental Brain Research*, 232(2), 481-491.
- Mesulam, M.-M. (1998). From sensation to cognition. *Brain*, 121(6), 1013-1052.
- Metcalf, J., & Mischel, W. (1999). A hot/cool-system analysis of delay of gratification: dynamics of willpower. *Psychological Review*, 106(1), 3-19.
- Meyvis, T., Ratner, R. K., & Levav, J. (2010). Why don't we learn to accurately forecast feelings? How misremembering our predictions blinds us to past forecasting errors. *Journal of Experimental Psychology: General*, 139(4), 579-589.
- Miller, E. K. (2000). The prefrontal cortex and cognitive control. *Nature Reviews Neuroscience*, 1(1), 59-65.
- Miller, J. D., Sanghera, M. K., & German, D. C. (1981). Mesencephalic dopaminergic unit activity in the behaviorally conditioned rat. *Life Sciences*, 29(12), 1255-1263.
- Mischel, W., Ebbesen, E. B., & Raskoff Zeiss, A. (1972). Cognitive and attentional mechanisms in delay of gratification. *Journal of Personality and Social Psychology*, 21(2), 204-218.
- Mitchell, L. A., MacDonald, R. A. R., Knussen, C., & Serpell, M. G. (2007). A survey investigation of the effects of music listening on chronic pain. *Psychology of Music*, 35(1), 37-57.
- Mitchell, V.-W. (1992). Understanding consumers' behaviour: can perceived risk theory help? *Management Decision*, 30(3), 26-31.
- Mnih, V., Kavukcuoglu, K., Silver, D., Rusu, A. A., Veness, J., Bellemare, M. G., Graves, A., Riedmiller, M., Fidjeland, A. K., Ostrovski, G., Petersen, S., Beattie, C., Sadik, A., Antonoglou, I., King, H., Kumaran, D., Wierstra, D., Legg, S., & Hassabis, D. (2015). Human-level control through deep reinforcement learning. *Nature*, 518(7540), 529-533.
- Mogenson, G. J., Takigawa, M., Robertson, A., & Wu, M. (1979). Self-stimulation of the nucleus accumbens and ventral tegmental area of Tsai attenuated by microinjections of spiroperidol into the nucleus accumbens. *Brain Research*, 171(2), 247-259.
- Mohr, P. N., Biele, G., & Heekeren, H. R. (2010). Neural processing of risk. *The Journal of Neuroscience*, 30(19), 6613-6619.
- Montague, P. R., Dayan, P., & Sejnowski, T. J. (1996). A framework for mesencephalic dopamine systems based on predictive Hebbian learning. *The Journal of Neuroscience*, 16(5), 1936-1947.
- Moreira, D., Pinto, M., Almeida, F., Barros, S., & Barbosa, F. (2016). Neurobiological bases of intertemporal choices: A comprehensive review. *Aggression and Violent Behavior*, 26, 1-8.
- Morrison, S. E., & Salzman, C. D. (2010). Re-valuing the amygdala. *Current Opinion in Neurobiology*, 20(2), 221-230.

- Moynihan, A. B., van Tilburg, W. A. P., Igou, E. R., Wisman, A., Donnelly, A. E., & Mulcaire, J. B. (2015). Eaten Up by Boredom: Consuming Food to Escape Awareness of the Bored Self. *Frontiers in Psychology*, 6, 369.
- Murphy, P. R., O'Connell, R. G., O'Sullivan, M., Robertson, I. H., & Balsters, J. H. (2014). Pupil diameter covaries with BOLD activity in human locus coeruleus. *Human Brain Mapping*, 35(8), 4140-4154.
- Nederkoorn, C., Vancleef, L., Wilkenhöner, A., Claes, L., & Havermans, R. C. (2016). Self-inflicted pain out of boredom. *Psychiatry Research*, 237, 127-132.
- Nelson, J. T., McKinley, R. A., Golob, E. J., Warm, J. S., & Parasuraman, R. (2014). Enhancing vigilance in operators with prefrontal cortex transcranial direct current stimulation (tDCS). *Neuroimage*, 85, Part 3, 909-917.
- Nieuwenhuis, S., Aston-Jones, G., & Cohen, J. D. (2005). Decision making, the P3, and the locus coeruleus - norepinephrine system. *Psychological Bulletin*, 131(4), 510-532.
- Nitschke, J. B., Sarinopoulos, I., Mackiewicz, K. L., Schaefer, H. S., & Davidson, R. J. (2006). Functional neuroanatomy of aversion and its anticipation. *Neuroimage*, 29(1), 106-116.
- Niv, Y., Daw, N. D., Joel, D., & Dayan, P. (2007). Tonic dopamine: opportunity costs and the control of response vigor. *Psychopharmacology*, 191(3), 507-520.
- North, A. C., Hargreaves, D. J., & O'Neill, S. A. (2000). The importance of music to adolescents. *British Journal of Educational Psychology*, 70 (Part 2), 255-272.
- Nyberg, L. (2005). Any novelty in hippocampal formation and memory? *Current Opinion in Neurology*, 18(4), 424-428.
- O'Doherty, J., Dayan, P., Schultz, J., Deichmann, R., Friston, K., & Dolan, R. J. (2004). Dissociable roles of ventral and dorsal striatum in instrumental conditioning. *Science*, 304(5669), 452-454.
- O'Doherty, J., Rolls, E. T., Francis, S., Bowtell, R., & McGlone, F. (2001). Representation of pleasant and aversive taste in the human brain. *Journal of Neurophysiology*, 85(3), 1315-1321.
- O'Doherty, J. P., Dayan, P., Friston, K., Critchley, H., & Dolan, R. J. (2003). Temporal difference models and reward-related learning in the human brain. *Neuron*, 38(2), 329-337.
- O'Hanlon, J. F. (1981). Boredom: Practical consequences and a theory. *Acta Psychologica*, 49(1), 53-82.
- O'Doherty, J. P. (2011). Contributions of the ventromedial prefrontal cortex to goal-directed action selection. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1239(1), 118-129.

- Olds, J., & Milner, P. (1954). Positive reinforcement produced by electrical stimulation of septal area and other regions of rat brain. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 47(6), 419-427.
- Ore, O. (1960). Pascal and the invention of probability theory. *The American Mathematical Monthly*, 67(5), 409-419.
- Padoa-Schioppa, C. (2011). Neurobiology of economic choice: a good-based model. *Annual Review of Neuroscience*, 34, 333-359.
- Padoa-Schioppa, C., & Assad, J. A. (2008). The representation of economic value in the orbitofrontal cortex is invariant for changes of menu. *Nature Neuroscience*, 11(1), 95-102.
- Pareto, V. (1900). Sunto di alcuni capitoli di un nuovo trattato di economia pura del Prof. Pareto. *Giornale degli Economisti*, 2(20), 216-235.
- Pareto, V. (1912). Manuel d'économie politique. *Bulletin of the American Mathematical Society*, 18(1), 462-474.
- Pashler, H. (1994). Dual-task interference in simple tasks: data and theory. *Psychological Bulletin*, 116(2), 220-244.
- Pasquereau, B., Nadjar, A., Arkadir, D., Bezdard, E., Goillandeau, M., Bioulac, B., Gross, C. E., & Boraud, T. (2007). Shaping of motor responses by incentive values through the basal ganglia. *The Journal of Neuroscience*, 27(5), 1176-1183.
- Paton, J. J., Belova, M. A., Morrison, S. E., & Salzman, C. D. (2006). The primate amygdala represents the positive and negative value of visual stimuli during learning. *Nature*, 439(7078), 865-870.
- Paulus, M. P., & Frank, L. R. (2006). Anterior cingulate activity modulates nonlinear decision weight function of uncertain prospects. *Neuroimage*, 30(2), 668-677.
- Paus, T. (2000). Functional anatomy of arousal and attention systems in the human brain. *Progress in Brain Research*, 126, 65-77.
- Penny, W., & Henson, R. (2007). Analysis of variance. In K. J. Friston, J. Ashburner, S. J. Kiebel, T. E. Nichols & W. Penny (Eds.), *Statistical Parametric Mapping: The Analysis of Functional Brain Images* (Vol. 166). Amsterdam: Elsevier Academic Press.
- Pessoa, L. (2010). Emotion and cognition and the amygdala: From "what is it?" to "what's to be done?". *Neuropsychologia*, 48(12), 3416-3429.
- Peters, J., & Büchel, C. (2009). Overlapping and distinct neural systems code for subjective value during intertemporal and risky decision making. *The Journal of Neuroscience*, 29(50), 15727-15734.
- Peters, J., & Büchel, C. (2010). Neural representations of subjective reward value. *Behavioural Brain Research*, 213(2), 135-141.

- Peters, J., & D'Esposito, M. (2016). Effects of Medial Orbitofrontal Cortex Lesions on Self-Control in Intertemporal Choice. *Current Biology*, 26(19), 2625-2628.
- Pham, M. T. (1998). Representativeness, Relevance, and the Use of Feelings in Decision Making. *Journal of Consumer Research*, 25(2), 144-159.
- Phelps, E. A., & LeDoux, J. E. (2005). Contributions of the amygdala to emotion processing: from animal models to human behavior. *Neuron*, 48(2), 175-187.
- Pine, A., Shiner, T., Seymour, B., & Dolan, R. J. (2010). Dopamine, time, and impulsivity in humans. *The Journal of Neuroscience*, 30(26), 8888-8896.
- Plassmann, H., O'Doherty, J., & Rangel, A. (2007). Orbitofrontal cortex encodes willingness to pay in everyday economic transactions. *The Journal of Neuroscience*, 27(37), 9984-9988.
- Ploghaus, A., Tracey, I., Gati, J. S., Clare, S., Menon, R. S., Matthews, P. M., & Rawlins, J. N. P. (1999). Dissociating pain from its anticipation in the human brain. *Science*, 284(5422), 1979-1981.
- Prelec, D., & Loewenstein, G. (1991). Decision making over time and under uncertainty: A common approach. *Management Science*, 37(7), 770-786.
- Puterman, M. L. (2014). *Markov decision processes: discrete stochastic dynamic programming*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Raju, P. S., & Venkatesan, M. (1980). Exploratory behavior in the consumer context: a state of the art review. *Advances in Consumer Research*, 7(1), 258-263.
- Ranganath, C., & Rainer, G. (2003). Neural mechanisms for detecting and remembering novel events. *Nature Reviews Neuroscience*, 4(3), 193-202.
- Rangel-Gomez, M., Janenaite, S., & Meeter, M. (2015). Novelty's effect on memory encoding. *Acta Psychologica*, 159, 14-21.
- Rangel, A., Camerer, C., & Montague, P. R. (2008). A framework for studying the neurobiology of value-based decision making. *Nature Reviews Neuroscience*, 9(7), 545-556.
- Reed, P., Mitchell, C., & Nokes, T. (1996). Intrinsic reinforcing properties of putatively neutral stimuli in an instrumental two-lever discrimination task. *Animal Learning & Behavior*, 24(1), 38-45.
- Reimers, S., Maylor, E. A., Stewart, N., & Chater, N. (2009). Associations between a one-shot delay discounting measure and age, income, education and real-world impulsive behavior. *Personality and Individual Differences*, 47(8), 973-978.
- Rescorla, R. A., & Wagner, A. R. (1972). A theory of Pavlovian conditioning: Variations in the effectiveness of reinforcement and nonreinforcement. In A. H. Black & W. F. Prokasy (Eds.), *Classical conditioning II: Current research and theory* (Vol. 2, pp. 64-99). New York: Appleton-Century-Crofts.

- Richter, J., Eisemann, M., & Richter, G. (2000). Zur deutschsprachigen Version des Temperament- und Charakterinventars. *Zeitschrift für Klinische Psychologie und Psychotherapie*, 29(2), 117-126.
- Rissanen, J. (1978). Modeling by shortest data description. *Automatica*, 14(5), 465-471.
- Rodriguez, M., Morales, I., González-Mora, J., Gomez, I., Sabate, M., Dopico, J., Rodríguez-Oroz, M., & Obeso, J. (2007). Different levodopa actions on the extracellular dopamine pools in the rat striatum. *Synapse*, 61(2), 61-71.
- Roiser, J. P., de Martino, B., Tan, G. C., Kumaran, D., Seymour, B., Wood, N. W., & Dolan, R. J. (2009). A genetically mediated bias in decision making driven by failure of amygdala control. *The Journal of Neuroscience*, 29(18), 5985-5991.
- Romo, R., & Schultz, W. (1990). Dopamine neurons of the monkey midbrain: contingencies of responses to active touch during self-initiated arm movements. *Journal of Neurophysiology*, 63(3), 592-606.
- Roussos, P., Giakoumaki, S. G., & Bitsios, P. (2009). Cognitive and emotional processing in high novelty seeking associated with the L-DRD4 genotype. *Neuropsychologia*, 47(7), 1654-1659.
- Rutledge, R. B., Dean, M., Caplin, A., & Glimcher, P. W. (2010). Testing the reward prediction error hypothesis with an axiomatic model. *The Journal of Neuroscience*, 30(40), 13525-13536.
- Rutledge, R. B., Skandali, N., Dayan, P., & Dolan, R. J. (2015). Dopaminergic modulation of decision making and subjective well-being. *The Journal of Neuroscience*, 35(27), 9811-9822.
- Samejima, K., Ueda, Y., Doya, K., & Kimura, M. (2005). Representation of action-specific reward values in the striatum. *Science*, 310(5752), 1337-1340.
- Samuelson, P. A. (1937). A note on measurement of utility. *The Review of Economic Studies*, 4(2), 155-161.
- Samuelson, P. A. (1938). A note on the pure theory of consumer's behaviour. *Economica*, 5(17), 61-71.
- Samuelson, W., & Zeckhauser, R. (1988). Status quo bias in decision making. *Journal of Risk and Uncertainty*, 1(1), 7-59.
- SanMiguel, I., Linden, D., & Escera, C. (2010). Attention capture by novel sounds: Distraction versus facilitation. *European Journal of Cognitive Psychology*, 22(4), 481-515.
- Sara, S. J., & Bouret, S. (2012). Orienting and reorienting: the locus coeruleus mediates cognition through arousal. *Neuron*, 76(1), 130-141.
- Schinka, J., Letsch, E., & Crawford, F. (2002). DRD4 and novelty seeking: results of meta-analyses. *American Journal of Medical Genetics*, 114(6), 643-648.

- Schomaker, J., & Meeter, M. (2014). Facilitation of responses by task-irrelevant complex deviant stimuli. *Acta Psychologica, 148*, 74-80.
- Schomaker, J., & Meeter, M. (2015). Short-and long-lasting consequences of novelty, deviance and surprise on brain and cognition. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 55*, 268-279.
- Schomaker, J., van Bronkhorst, M. L., & Meeter, M. (2014). Exploring a novel environment improves motivation and promotes recall of words. *Frontiers in Psychology, 5*, 918.
- Schultz, W. (1986). Responses of midbrain dopamine neurons to behavioral trigger stimuli in the monkey. *Journal of Neurophysiology, 56*(5), 1439-1461.
- Schultz, W. (1998). Predictive reward signal of dopamine neurons. *Journal of Neurophysiology, 80*(1), 1-27.
- Schultz, W. (2016). Dopamine reward prediction error coding. *Dialogues in Clinical Neuroscience, 18*(1), 23-32.
- Schultz, W., Apicella, P., & Ljungberg, T. (1993). Responses of monkey dopamine neurons to reward and conditioned stimuli during successive steps of learning a delayed response task. *The Journal of Neuroscience, 13*(3), 900-913.
- Schultz, W., Dayan, P., & Montague, P. R. (1997). A neural substrate of prediction and reward. *Science, 275*(5306), 1593-1599.
- Sellitto, M., Ciaramelli, E., & di Pellegrino, G. (2011). The neurobiology of intertemporal choice: insight from imaging and lesion studies. *Reviews in the Neurosciences, 22*(5), 565-574.
- Sharot, T., De Martino, B., & Dolan, R. J. (2009). How Choice Reveals and Shapes Expected Hedonic Outcome. *The Journal of Neuroscience, 29*(12), 3760-3765.
- Sheppes, G., & Gross, J. J. (2011). Is timing everything? Temporal considerations in emotion regulation. *Personality and Social Psychology Review, 15*(4), 319-331.
- Simmons, A., Matthews, S. C., Stein, M. B., & Paulus, M. P. (2004). Anticipation of emotionally aversive visual stimuli activates right insula. *Neuroreport, 15*(14), 2261-2265.
- Smith, R. P. (1981). Boredom: A Review. *Human Factors, 23*(3), 329-340.
- Sohn, J.-H., Kim, H.-E., Sohn, S., Seok, J.-W., Choi, D., & Watanuki, S. (2015). Effect of emotional arousal on inter-temporal decision-making: an fMRI study. *Journal of Physiological Anthropology, 34*(1), 8.
- Sokolov, E. N. (1963). Higher nervous functions: The orienting reflex. *Annual Review of Physiology, 25*(1), 545-580.

Soman, D., Ainslie, G., Frederick, S., Li, X., Lynch, J., Moreau, P., Mitchell, A., Read, D., Sawyer, A., & Trope, Y. (2005). The psychology of intertemporal discounting: Why are distant events valued differently from proximal ones? *Marketing Letters*, *16*(3-4), 347-360.

Spreng, R. N., Mar, R. A., & Kim, A. S. (2009). The common neural basis of autobiographical memory, prospection, navigation, theory of mind, and the default mode: a quantitative meta-analysis. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *21*(3), 489-510.

Stauffer, W. R., Lak, A., & Schultz, W. (2014). Dopamine reward prediction error responses reflect marginal utility. *Current Biology*, *24*(21), 2491-2500.

Steinberg, E. E., Keiflin, R., Boivin, J. R., Witten, I. B., Deisseroth, K., & Janak, P. H. (2013). A causal link between prediction errors, dopamine neurons and learning. *Nature Neuroscience*, *16*(7), 966-973.

Steinfels, G. F., Heym, J., Strecker, R. E., & Jacobs, B. L. (1983). Response of dopaminergic neurons in cat to auditory stimuli presented across the sleep-waking cycle. *Brain Research*, *277*(1), 150-154.

Stoops, W. W., Lile, J. A., Robbins, C. G., Martin, C. A., Rush, C. R., & Kelly, T. H. (2007). The reinforcing, subject-rated, performance, and cardiovascular effects of d-amphetamine: influence of sensation-seeking status. *Addictive Behaviors*, *32*(6), 1177-1188.

Sutton, R. S., & Barto, A. G. (1987). *A temporal-difference model of classical conditioning*. Paper presented at the Proceedings of the ninth annual conference of the Cognitive Science Society.

Takahashi, T., Ikeda, K., & Hasegawa, T. (2007). A hyperbolic decay of subjective probability of obtaining delayed rewards. *Behavioral and Brain Functions*, *3*(1), 52.

Talmi, D., Dayan, P., Kiebel, S. J., Frith, C. D., & Dolan, R. J. (2009). How humans integrate the prospects of pain and reward during choice. *Journal of Neuroscience*, *29*(46), 14617-14626.

Tanabe, J., Nyberg, E., Martin, L. F., Martin, J., Cordes, D., Kronberg, E., & Tregellas, J. R. (2011). Nicotine effects on default mode network during resting state. *Psychopharmacology*, *216*(2), 287-295.

Tanaka, S. C., Balleine, B. W., & O'Doherty, J. P. (2008). Calculating Consequences: Brain Systems That Encode the Causal Effects of Actions. *The Journal of Neuroscience*, *28*(26), 6750-6755.

Tanaka, S. C., Doya, K., Okada, G., Ueda, K., Okamoto, Y., & Yamawaki, S. (2004). Prediction of immediate and future rewards differentially recruits cortico-basal ganglia loops. *Nature Neuroscience*, *7*(8), 887-893.

Tanaka, S. C., Samejima, K., Okada, G., Ueda, K., Okamoto, Y., Yamawaki, S., & Doya, K. (2006). Brain mechanism of reward prediction under predictable and unpredictable environmental dynamics. *Neural Networks*, *19*(8), 1233-1241.

- Tarbi, E. C., Sun, X., Holcomb, P. J., & Daffner, K. R. (2011). Surprise? Early visual novelty processing is not modulated by attention. *Psychophysiology*, *48*(5), 624-632.
- Thaler, R. (1980). Toward a positive theory of consumer choice. *Journal of Economic Behavior & Organization*, *1*(1), 39-60.
- Tobia, M. J., Guo, R., Schwarze, U., Boehmer, W., Gläscher, J., Finckh, B., Marschner, A., Büchel, C., Obermayer, K., & Sommer, T. (2014). Neural systems for choice and valuation with counterfactual learning signals. *Neuroimage*, *89*, 57-69.
- Tobler, P. N., Fiorillo, C. D., & Schultz, W. (2005). Adaptive coding of reward value by dopamine neurons. *Science*, *307*(5715), 1642-1645.
- Todman, M. (2013). The dimensions of state boredom: Frequency, duration, unpleasantness, consequences and causal attributions. *Dimensions*, *1*(1), 32-40.
- Tom, S. M., Fox, C. R., Trepel, C., & Poldrack, R. A. (2007). The neural basis of loss aversion in decision-making under risk. *Science*, *315*(5811), 515-518.
- Tricomi, E., Balleine, B. W., & O'Doherty, J. P. (2009). A specific role for posterior dorsolateral striatum in human habit learning. *European Journal of Neuroscience*, *29*(11), 2225-2232.
- Tversky, A., & Kahneman, D. (1981). The framing of decisions and the psychology of choice. *Science*, *211*(4481), 453-458.
- Tversky, A., & Kahneman, D. (1985). The framing of decisions and the psychology of choice. In V. T. Covello, J. L. Mumpower, P. J. M. Stallen & V. R. R. Uppuluri (Eds.), *Environmental Impact Assessment, Technology Assessment, and Risk Analysis* (pp. 107-129). Heidelberg: Springer.
- Tversky, A., & Kahneman, D. (1992). Advances in prospect theory: Cumulative representation of uncertainty. *Journal of Risk and Uncertainty*, *5*(4), 297-323.
- Tye, K. M., Stuber, G. D., de Ridder, B., Bonci, A., & Janak, P. H. (2008). Rapid strengthening of thalamo-amygdala synapses mediates cue-reward learning. *Nature*, *453*(7199), 1253-1257.
- Ulrich, M., Keller, J., & Grön, G. (2016). Neural signatures of experimentally induced flow experiences identified in a typical fMRI block design with BOLD imaging. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, *11*(3), 496-507.
- Ulrich, M., Keller, J., Hoenig, K., Waller, C., & Grön, G. (2014). Neural correlates of experimentally induced flow experiences. *Neuroimage*, *86*, 194-202.
- Ungemach, C., Stewart, N., & Reimers, S. (2011). How incidental values from the environment affect decisions about money, risk, and delay. *Psychological Science*, *22*(2), 253-260.

- Valentin, V. V., & O'Doherty, J. P. (2009). Overlapping prediction errors in dorsal striatum during instrumental learning with juice and money reward in the human brain. *Journal of Neurophysiology*, *102*(6), 3384-3391.
- Van Boven, L., & Ashworth, L. (2007). Looking forward, looking back: anticipation is more evocative than retrospection. *Journal of Experimental Psychology: General*, *136*(2), 289-300.
- van den Bos, W., Rodriguez, C. A., Schweitzer, J. B., & McClure, S. M. (2014). Connectivity strength of dissociable striatal tracts predict individual differences in temporal discounting. *The Journal of Neuroscience*, *34*(31), 10298-10310.
- van Gaalen, M. M., van Koten, R., Schoffelmeer, A. N., & Vanderschuren, L. J. (2006). Critical involvement of dopaminergic neurotransmission in impulsive decision making. *Biological Psychiatry*, *60*(1), 66-73.
- van Tilburg, W. A., & Igou, E. R. (2012). On boredom: Lack of challenge and meaning as distinct boredom experiences. *Motivation and Emotion*, *36*(2), 181-194.
- Vankov, A., Hervé-Minvielle, A., & Sara, S. J. (1995). Response to novelty and its rapid habituation in locus coeruleus neurons of the freely exploring rat. *European Journal of Neuroscience*, *7*(6), 1180-1187.
- Vodanovich, S. J. (2003). Psychometric measures of boredom: A review of the literature. *The Journal of Psychology*, *137*(6), 569-595.
- Vodanovich, S. J., & Watt, J. D. (2016). Self-Report Measures of Boredom: An Updated Review of the Literature. *The Journal of Psychology*, *150*(2), 196-228.
- Volkow, N. D., & Baler, R. D. (2015). NOW vs LATER brain circuits: implications for obesity and addiction. *Trends in Neurosciences*, *38*(6), 345-352.
- von Neumann, J., & Morgenstern, O. (1944). *Theory of games and economic behavior*. Princeton, NY: Princeton University Press.
- Voon, V., Morris, L. S., Irvine, M. A., Ruck, C., Worbe, Y., Derbyshire, K., Rankov, V., Schreiber, L. R., Odlaug, B. L., & Harrison, N. A. (2015). Risk-taking in disorders of natural and drug rewards: neural correlates and effects of probability, valence, and magnitude. *Neuropsychopharmacology*, *40*(4), 804-812.
- Wang, K. S., Smith, D. V., & Delgado, M. R. (2016). Using fMRI to study reward processing in humans: past, present, and future. *Journal of Neurophysiology*, *115*(3), 1664-1678.
- Watanabe, K., & Funahashi, S. (2014). Neural mechanisms of dual-task interference and cognitive capacity limitation in the prefrontal cortex. *Nature Neuroscience*, *17*, 601-611.
- Weber, B., Aholt, A., Neuhaus, C., Trautner, P., Elger, C. E., & Teichert, T. (2007). Neural evidence for Reference-dependence in real-market-transactions. *Neuroimage*, *35*(1), 441-447.

- Weiskopf, N., Hutton, C., Josephs, O., & Deichmann, R. (2006). Optimal EPI parameters for reduction of susceptibility-induced BOLD sensitivity losses: A whole-brain analysis at 3 T and 1.5 T. *Neuroimage*, 33(2), 493-504.
- Weiskrantz, L. (1956). Behavioral changes associated with ablation of the amygdaloid complex in monkeys. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 49(4), 381-391.
- Wetzel, N., Widmann, A., & Schröger, E. (2012). Distraction and facilitation—two faces of the same coin? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 38(3), 664-674.
- Wickens, C. D. (2002). Multiple resources and performance prediction. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 3(2), 159-177.
- Wilbertz, G., van Elst, L. T., Delgado, M. R., Maier, S., Feige, B., Philipsen, A., & Blechert, J. (2012). Orbitofrontal reward sensitivity and impulsivity in adult attention deficit hyperactivity disorder. *Neuroimage*, 60(1), 353-361.
- Wilson, F. A., & Goldman-Rakic, P. S. (1994). Viewing preferences of rhesus monkeys related to memory for complex pictures, colours and faces. *Behavioural Brain Research*, 60(1), 79-89.
- Wilson, M., & Daly, M. (2004). Do pretty women inspire men to discount the future? *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 271(Suppl 4), S177-S179.
- Wilson, T. D., Wheatley, T., Meyers, J. M., Gilbert, D. T., & Axsom, D. (2000). Focalism: a source of durability bias in affective forecasting. *Journal of Personality and Social Psychology*, 78(5), 821-836.
- Winstanley, C. A., Dalley, J. W., Theobald, D. E., & Robbins, T. W. (2003). Global 5-HT depletion attenuates the ability of amphetamine to decrease impulsive choice on a delay-discounting task in rats. *Psychopharmacology*, 170(3), 320-331.
- Wise, R. A., & Rompre, P.-P. (1989). Brain dopamine and reward. *Annual Review of Psychology*, 40(1), 191-225.
- Wittmann, B. C., Bunzeck, N., Dolan, R. J., & Düzel, E. (2007). Anticipation of novelty recruits reward system and hippocampus while promoting recollection. *Neuroimage*, 38(1), 194-202.
- Wittmann, B. C., Daw, N. D., Seymour, B., & Dolan, R. J. (2008). Striatal activity underlies novelty-based choice in humans. *Neuron*, 58(6), 967-973.
- Workman, J. E., & Studak, C. M. (2007). Relationships among fashion consumer groups, locus of control, boredom proneness, boredom coping and intrinsic enjoyment. *International Journal of Consumer Studies*, 31(1), 66-75.
- Wunderlich, K., Dayan, P., & Dolan, R. J. (2012). Mapping value based planning and extensively trained choice in the human brain. *Nature Neuroscience*, 15(5), 786-791.

Yamada, H., Inokawa, H., Matsumoto, N., Ueda, Y., & Kimura, M. (2011). Neuronal basis for evaluating selected action in the primate striatum. *European Journal of Neuroscience*, *34*(3), 489-506.

Yarkoni, T., Poldrack, R. A., Nichols, T. E., Van Essen, D. C., & Wager, T. D. (2011). Large-scale automated synthesis of human functional neuroimaging data. *Nature Methods*, *8*(8), 665-670.

Yin, H. H., Ostlund, S. B., Knowlton, B. J., & Balleine, B. W. (2005). The role of the dorsomedial striatum in instrumental conditioning. *European Journal of Neuroscience*, *22*(2), 513-523.

Yu, R., Mobbs, D., Seymour, B., & Calder, A. J. (2010). Insula and striatum mediate the default bias. *The Journal of Neuroscience*, *30*(44), 14702-14707.

Yu, R., Mobbs, D., Seymour, B., Rowe, J. B., & Calder, A. J. (2014). The neural signature of escalating frustration in humans. *Cortex*, *54*, 165-178.

Zaghloul, K. A., Blanco, J. A., Weidemann, C. T., McGill, K., Jaggi, J. L., Baltuch, G. H., & Kahana, M. J. (2009). Human substantia nigra neurons encode unexpected financial rewards. *Science*, *323*(5920), 1496-1499.

Zald, D. H., Cowan, R. L., Riccardi, P., Baldwin, R. M., Ansari, M. S., Li, R., Shelby, E. S., Smith, C. E., McHugo, M., & Kessler, R. M. (2008). Midbrain dopamine receptor availability is inversely associated with novelty-seeking traits in humans. *The Journal of Neuroscience*, *28*(53), 14372-14378.

Zuckerman, M. (1971). Dimensions of sensation seeking. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, *36*(1), 45-52.

Zuckerman, M., Kolin, E. A., Price, L., & Zoob, I. (1964). Development of a sensation-seeking scale. *Journal of Consulting Psychology*, *28*(6), 477-482.

Erklärung

Ich erkläre: Ich habe die vorgelegte Dissertation selbstständig und ohne unerlaubte fremde Hilfe und nur mit den Hilfen angefertigt, die ich in der Dissertation angegeben habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der „Satzung der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten.

Gießen, Januar 2017

Dennis E. Dal Mas

Danksagung

Ein ganz besonderer Dank gilt Prof. Dr. Bianca Wittmann. Sie hat mir die vorliegende Arbeit ermöglicht und mich fortwährend unterstützt und betreut. Ich danke ihr für ihre große Hilfsbereitschaft in allen Etappen der Arbeit.

Prof. Dr. Reinhard Lakes-Harlan danke ich sehr für seine Bereitschaft, sich als mein Zweitbetreuer zur Verfügung gestellt zu haben.

Meiner ehemaligen Kollegin Dr. Lisa Bulganin danke ich dafür, dass sie meine Zeit in der Abteilung positiv geprägt und zu einer besonders schönen Erinnerung hat werden lassen. Ich danke meiner Kollegin Dr. Manuela Sellitto dafür, dass ich mit ihr viel Spaß im Arbeitsalltag hatte und ebenso für ihre fachliche Unterstützung. Meiner Kollegin Dr. Judith Schomaker danke ich ebenfalls für wertvolle fachliche Informationen und dafür, dass sie stark zu einer sehr angenehmen Arbeitsatmosphäre beigetragen hat.

Ich danke Prof. Dr. Joachim Stiensmeier-Pelster für seine beständige Unterstützung.

Weiterhin möchte ich mich beim Team der Arbeitsgruppe „Motivation, Emotion und Lernen“ der Pädagogischen Psychologie, beim BION-Team und bei Prof. Dr. Markus Knauff und seinen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern aus der Kognitionsforschung bedanken.

Ich danke all denjenigen, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben – sei es durch fachliche Ratschläge oder Unterstützung im privaten Umfeld. In diesem Bereich gilt Lena Jedowski ein besonderer Dank für ihren Rückhalt.

Der größte Dank gilt meinen Eltern und Großonkeln für ihre stetige und lebenslange Unterstützung.